

# Clasificadora de patata de frecuencia natural



Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico

## Trabajo Fin de Grado

Autor: Andrés Goya Ibero.

Director: Ignacio Arana Navarro.

Tudela, 30 Junio 2015.

## RESUMEN:

En este trabajo se desarrollara una criba de frecuencia natural para el calibrado de patatas en diferentes tamaños.

La motivación para realizar trabajo surge de la idea de mejorar los sistemas de clasificado de hortalizas de hoy en día, concretamente el de patatas.

El consumo de patatas en la actualidad es muy elevado, ya que se considera un alimento básico en nuestras vidas, por tanto su comercialización está asegurada. En la comercialización, la patata, debe cumplir unos requisitos obligatorios establecidos por la ley.

El presente proyecto trata del diseño, para su posterior fabricación, de una criba para la clasificación de patata en fresco en siete tamaños diferentes aplicando la tecnología de vibración basada en la frecuencia natural de los materiales. Para ello una vez determinadas las luces y superficies de malla idóneas para cada tamaño a clasificar, elegiremos el soporte físico que las va a soportar.

Este modo de clasificar las patatas es un sistema novedoso, ya que consigue un importante ahorro de energía.

## PALABRAS CLAVE:

Criba, resonancia, patatas, bandeja, base, masa de reacción, frecuencia natural, frecuencia de excitación, motovibrador, ballestas, luz de malla, malla, superficie de cribado.

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	5
2.	HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA CLASIFICACIÓN Y EL CRIBADO. ....	6
3.	TEORÍA DEL CRIBADO .....	9
4.	ELECCIÓN DE LA SUPERFICIE DE CRIBADO. ....	11
4.1.	Tipos de superficies de cribado:.....	11
4.2.	Superficie de cribado de mallas metálicas. ....	14
5.	SUPERFICIE DE CRIBADO .....	16
5.1.	Factor de capacidad base .....	16
5.2.	Factor de sobretamaño .....	17
5.3.	Factor de sub tamaño .....	17
5.4.	Factor de humedad .....	18
5.5.	Factor de densidad .....	18
5.6.	Factor de superficie útil.....	19
5.7.	Factor de piso .....	20
6.	PARÁMETROS DE LAS CRIBAS .....	20
6.1.	Frecuencia, amplitud del material y longitud de recorrido .....	20
6.2.	Velocidad de rotación y aceleración .....	22
6.3.	Ángulo de carrera.....	22
6.4.	Inclinación de la superficie.....	22
6.5.	Velocidad de avance.....	23
6.6.	Longitud y anchura de la criba. ....	23
6.7.	Factor de piso.....	23
6.8.	Superficie de cribado efectivo.....	23
6.9.	Características de las mallas de la criba. ....	24
6.10.	Alimentación y distribución del material. ....	24
7.	ELECCIÓN DEL TIPO DE CRIBA. ....	25
8.	MÁQUINAS DE CRIBADO EXISTENTE .....	26
8.1.	Calibrado de rodillos: .....	26
8.2.	Calibrado por mallas: .....	28
9.	CRIBAS DE RESONANCIA. ....	29
9.1.	Accionamiento de la criba.....	32
9.2.	Ballestas. ....	34

9.3.	Antivibrantes.....	36
10.	DISEÑO DE LA MÁQUINA.....	37
10.1.	Bandeja.....	37
10.1.1.	Cálculo de la superficie de cribado para cada tramo de la malla.....	37
10.1.2.	Peso de las chapas y apoyos superiores.....	42
10.1.3.	Peso de la malla.....	45
10.1.4.	Peso de las patatas en la bandeja. ....	45
10.2.	Base .....	46
10.3.	Cálculo.....	49
10.3.1.	Principio de funcionamiento entre la patata y la bandeja.....	49
10.3.2.	Fórmulas aplicadas.....	50
10.3.3.	Datos de partida.....	51
10.3.4.	Cálculo de la constante elástica de la máquina. ....	51
10.3.5.	Elección de las ballestas .....	52
10.3.6.	Cálculo de la fuerza de impulso necesaria. ....	53
10.3.7.	Cálculo del “stress” máximo de la ballesta. ....	55
10.3.8.	Cálculo de las aceleraciones.....	56
10.3.9.	Cálculo de asilamiento. ....	58
10.3.10.	Fórmulas que rigen el funcionamiento del motovibrador.....	60
10.3.11.	Tablas de cálculo. ....	61
11.	CONCLUSIONES .....	64
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	65
13.	ANEXO I .....	66
14.	ANEXO II .....	66
15.	ANEXO III .....	66

## 1. INTRODUCCIÓN

La patata es uno de los cultivos más extendidos en todo el mundo. De hecho, su consumo está dedicado a la alimentación humana en fresco, para alimentación del ganado, además de como materia prima para las industrias agroalimentarias de producción de patatas fritas, copos de patatas, patatas congeladas, etc.

Su nombre científico es *Solanum tuberosum*, y pertenece al género de las *Solanáceas*, al igual que otras conocidas hortalizas como por ejemplo el tomate, pimiento y berenjena. Es una planta anual, nace y muere el mismo año, de la que se aprovechan los tubérculos, engrosamientos provistos de material de reserva, principalmente almidón, que se forman en los tallos subterráneos.

Hoy en día resulta un alimento básico cultivado en las regiones templadas de todo el mundo. Dada la enorme cantidad de países que se dedican a su cultivo y la gran variedad de patatas existentes, su disponibilidad en los mercados está asegurada durante todo el año.

En el mercado, las patatas se encuentran ya lavadas y limpias. Pero a nivel particular, es conveniente guardarlas tal y como se recogen del campo, con tierra pero seca. Si se lavan, además del trabajo que ello conlleva, existe la posibilidad de facilitar su pudrición, sobre todo si les hemos causado heridas involuntarias durante el desenterrado.

Para su comercialización, la patata debe cumplir unos requisitos determinados impuestos por el Estado, los cuales están recogidos en el Boletín Oficial del Estado (BOE 24/01/2009 Núm. 21. Sec I. Pág. 8175).

Las pautas referentes al calibre de la patata vienen recogidas en el BOE según las siguientes citas:

- Disposiciones relativas al calibre:

Según el BOE en el apartado de disposiciones al calibre de la patata, el calibre vendrá determinado por la longitud del lado de una malla cuadrada, en la que pasen los tubérculos de forma natural y más favorable.

El calibre mínimo de las patatas se fija en 28 mm para las "De primor" y 35 mm para las demás. No obstante, se admitirá la comercialización de las patatas con un calibre comprendido entre 18 mm y los mínimos citados, bajo la denominación "Patata menuda fuera de calibre" u otra designación de venta equivalente.

La homogeneidad de calibre no es obligatoria en aquellos envases de venta de un peso neto superior a 5 kilogramos. En los envases de venta con un peso neto inferior o igual

a 5 kilogramos, la diferencia entre las unidades mayor y menor no será superior a 35 mm. Con carácter facultativo, las patatas en envases de más de 5 kilogramos podrán presentarse calibradas. En este caso el intervalo entre los calibres mayor y menor dentro de un mismo envase no será superior a 45 mm.

Tolerancias de calibre: Para todos los tipos y categorías, un 6% en peso de tubérculos que no cumplan los requisitos de calibre mínimo establecido o, en caso de presentarse calibrados, que no correspondan al calibre y/o superior al especificado, en una desviación máxima del 15%.

- Disposiciones relativas a la presentación: Homogeneidad:

El contenido de cada envase o, en caso de expedición a granel, de cada lote, deberá ser homogéneo, incluyendo únicamente patatas del mismo tipo comercial, origen, variedad, calidad y calibre, si se presentan calibradas.

No obstante, los envases de venta de un peso neto no superior a 3 kilogramos, podrán contener mezclas de patatas de diferentes variedades siempre y cuando sean homogéneas en cuanto a tipo comercial y calidad y los tubérculos de cada variedad sean del mismo origen y calibre en su caso.

La parte visible del contenido del envase o del lote, si las patatas se presentan a granel, tendrá que ser representativa del conjunto.

Sin perjuicio de las disposiciones anteriores de este punto, los productos regulados por el presente real decreto podrán aparecer mezclados, en envases de venta de un peso neto inferior o igual a 3 kilogramos, con frutas y hortalizas frescas de especies diferentes, en las condiciones establecidas en el Reglamento (CE) n.º 48/2003 de la Comisión, por el que se establecen las normas aplicables a las mezclas de frutas y hortalizas frescas de diferentes especies contenidas en un mismo envase de venta.

El objetivo del presente trabajo será el diseño de una máquina de frecuencia natural la cual sea capaz de separar las patatas en siete tamaños diferentes. Esto se conseguirá haciendo pasar las patatas por una criba en función de su tamaño.

## 2. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA CLASIFICACIÓN Y EL CRIBADO.

En los orígenes, las primeras cribas o zarandas se emplearon en la agricultura y, concretamente, en la limpieza de grano. La zaranda sencilla se componía de un aro ancho y delgado de madera, de un fondo diversamente agujereado y de diferentes materiales, según la operación y la especie de grano a que se destinaba.

El fondo de la criba era, por lo general, de cuero taladrado de agujeros proporcionados al objeto de la operación. Si solo se quería limpiar el cereal del polvo, los agujeros eran largos y angostos; si se pretendía separar el grano menudo del grueso, los agujeros eran proporcionales para dejar pasar los primeros y detener los segundos.

Las cribas con el fondo de espartos poco distantes entre sí solo se empleaban para separar del cereal el polvo y las semillas menudas. Hay incluso referencias en grabados del antiguo Egipto donde empleaban zarandas para el cribado del grano, tal como se puede observar en la figura 1.



Figura 1. Grabado de zaranda del antiguo Egipto.

La evolución de dichas zarandas dio paso a las metálicas, agujereadas de diferentes maneras según las semillas que tenían que cribar y el objeto de la operación.

La forma de trabajar con estas cribas era la siguiente: se cogía con la criba una cantidad de grano y, apoyándola en su cintura, se movían a un lado y a otro; concluían dando a la criba un movimiento circular e inclinado hacia adelante y retrocediéndola de repente. Este movimiento hace que junto al borde delantero de la criba se reúnan las inmundicias más ligeras y, balanceando un poco la rudimentaria máquina, consiga que las materias más ligeras caigan en el suelo y el grano se quede en la criba. En la figura 2 se puede ver un cedazo para trigo.



Figura 2. Cedazo para trigo.

Los cedazos manuales fueron evolucionando a través de mecanismos de mayor capacidad, tales como las cribas de cilindro y las de viento.

En el diccionario Universal de la Agricultura (D. Juan Álvarez Guerra 1799) se explicaban de forma detallada y acompañado de grabados los diferentes sistemas de cribado de la época.

En la figura 3 se puede ver algunos de los tipos de cribas descritos.



Figura 3. Criba de cilindro (izquierda) y criba de viento (derecha).

Con el desarrollo de la minería, en especial la metálica, a mediados del siglo XVII y la necesidad de clasificar en fracciones, se perfeccionaron las zarandas, buscando tamaños más grandes y aparatos más robustos que los empleados hasta entonces en la agricultura.

Los primeros cedazos se fueron transformando hasta construir los equipos que hoy en día se conocen como cribas vibrantes. Las primeras unidades mecanizadas fueron accionadas por energía hidráulica hasta la aparición del vapor y, posteriormente, por electricidad.

A partir de la segunda mitad del siglo XX es cuando se realizan los mayores avances. En el año 1965 nacen las primeras cribas probabilísticas (Mogensenen, 1965) en la Universidad Técnica de Helsinki (Finlandia), donde desarrolló una fórmula para determinar la probabilidad de que una partícula pase a través de la malla de una criba. Esta probabilidad dependía del tamaño de la partícula, de la apertura de mallas y del diámetro de hilo de las mallas.

Demostró que las llamadas partículas críticas, con tamaños próximos a la apertura de las mallas, estorbaban en el proceso de cribado considerablemente y años más tarde



se dio cuenta de que, a pesar de que las partículas fueran más pequeñas que la apertura de malla, la probabilidad de su paso a través de la misma podría ser la base de la determinación de la apertura de mallas en función del tamaño de las partículas y del diámetro de las hilos que las conforman. La primera criba aplicada a la industria no apareció hasta los años 50.

A partir de los años 70 se empezó a tener en cuenta la importancia que tenía la forma del material a clasificar y se fabricaron mallas, las cuales colocada en su debido piso conseguían cribar o rechazar el material según la forma que interesaba.

Se determinó que la malla metálica es la superficie de cribado que más precisión da en el corte a realizar y dispone de más porcentaje de superficie de cribado libre. Posteriormente en los años 90, motivado por la reducción de costes, se desarrollaron superficies de cribado fabricadas con materiales más duraderos y resistentes ante la abrasión: la goma y el poliuretano, pero con el inconveniente de reducir la capacidad de cribado de la máquina.

El cribado mecánico reposa sobre las oportunidades de paso del material a través de la superficie cribante. Estas oportunidades son función de la trayectoria de los granos (velocidad y dirección), de forma y espesor del orificio, del número sucesivo de orificios que puede encontrar un grano determinado, etc.

Los granos netamente más pequeños que el orificio pasan sin dificultad. Por el contrario, los granos cuya dimensión tiende cada vez más a acercarse al del orificio tienen cada vez menos oportunidades de pasar.

### 3. TEORÍA DEL CRIBADO

Los principios de cribado son esencialmente los mismos en cualquier aplicación. El material a clasificar, cuando entra en contacto sobre la superficie de cribado, pierde su componente de velocidad vertical y cambia la dirección de su movimiento. Bajo el efecto de la vibración, la capa de material tiende a desarrollar un estado fluido. Una vez que el material esté sobre la superficie de cribado, ocurren dos procesos que posibilitan la clasificación: La estratificación y la probabilidad de separación.

La estratificación es el proceso en el que, por efecto del movimiento vibratorio, las partículas gruesas suben a la parte superior de la capa de material y las partículas más finas bajan hacia la parte inferior de la capa a través de los espacios creados entre las partículas gruesas. Los factores interrelacionados que afectan a la estratificación son la velocidad del flujo del material; las características de carrera, tales como amplitud,

dirección, rotación, tipo de movimiento y frecuencia; y la humedad superficial de las partículas. Un elevado contenido de humedad dificulta la estratificación.

La probabilidad de separación es el proceso en el que las partículas llegan a la malla y, según sean mayores o menores que las aberturas de la malla, son rechazadas o pasan a través de la criba.

La probabilidad de separación de una partícula es una función de la relación entre su tamaño y la abertura de la malla e la criba. Cuanto mayor sea la diferencia de tamaño, mayor será la probabilidad de que las partículas pasen o sean rechazadas.

Las partículas con tamaño  $d > 1,5x$ , donde "x" es la abertura de la malla, tienen poca importancia para el resultado del cribado. La cantidad relativa de estas partículas tiene mayor influencia sobre el desgaste y el consumo de energía.

Las partículas con tamaño  $d < 0,5x$ , son también poco relevantes, ya que pasan fácilmente a través de la malla. Las de tamaño  $0,5x < d < 1,5x$  son críticas y determinan tanto la eficiencia como la capacidad, ya que a menudo requieren varias tentativas antes de pasar a través de la malla. También las partículas  $x < d < 1,5x$  atascan muchas aberturas antes de salir de la malla como material retenido.

Por otra parte, la tasa del flujo del material a través de las aberturas de la malla de la criba varía según el grado de estratificación y probabilidad. Cuando se descarga el material en la extremidad de alimentación de la superficie de cribado, la vibración causa la estratificación.

Respecto al movimiento de vibración, éste se produce por medio de mecanismos vibrantes basados en masas excéntricas con diferentes amplitudes y velocidades. Para una buena calidad de separación, se necesita una buena relación entre amplitud y frecuencia. Es deseable que cuando el material se traslada sobre la criba, las partículas no caigan en la misma abertura al mismo tiempo y que no salten varias aberturas. Por eso, se debe tener en cuenta que con aberturas mayores, mayor debe de ser la amplitud y menor la velocidad. Con aberturas menores, debe ser menor la amplitud y mayor la velocidad.

## 4. ELECCIÓN DE LA SUPERFICIE DE CRIBADO.

La capacidad de una criba es la cantidad de material que pasa a través de la misma. En la práctica, la capacidad se expresa como la cantidad de material que se alimenta a la criba.

La elección del tipo de superficie de cribado es de vital importancia, ya que esto facilitará o perjudicará el paso del producto a clasificar por las aberturas y si no es el correcto puede acarrear una serie de inconvenientes. Esto indica que el proceso de selección de la superficie de cribado debe someterse a un análisis riguroso, donde no solo deben considerarse aspectos como su duración o precio, sino también su eficiencia de clasificación.

### 4.1. Tipos de superficies de cribado:

- Parrillas de barras (figura 4)
- Chapas perforadas (figura 5)
- Mallas (figura 6)

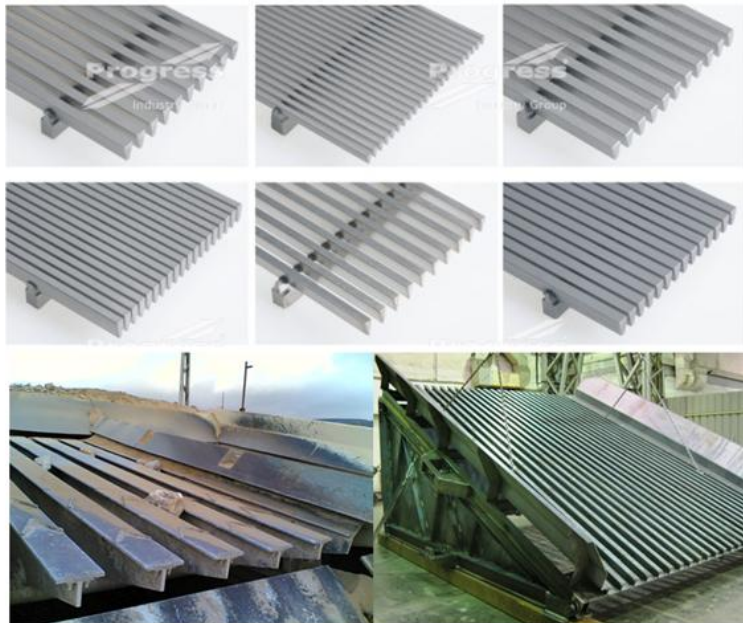


Figura 4. Superficie de cribado de parrillas de barras.

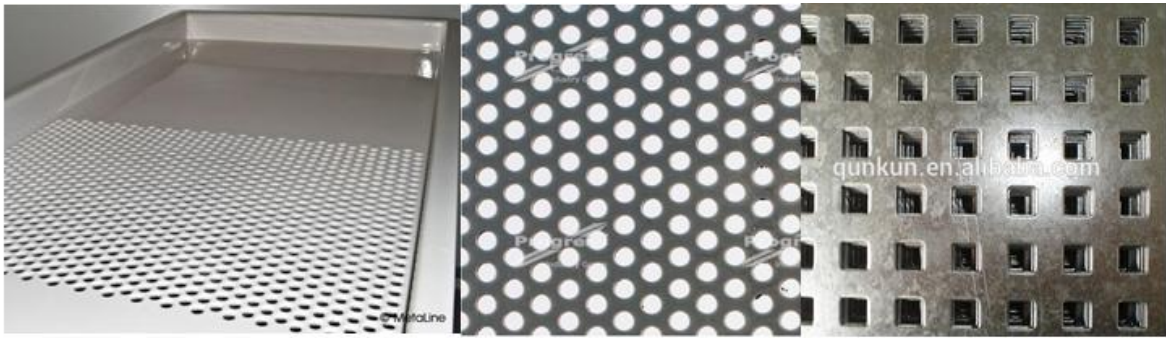


Figura 5. Superficie de cribado de chapas perforadas.



Figura 6. Superficie de cribado de malas.

La selección de las superficies de cribado se fundamenta a raíz de las siguientes características:

**-Robustez de la superficie frente a las posibles deformaciones, desgastes y rotura por fatiga.** Hay que tenerlo muy en cuenta a la hora de trabajar con tamaños excesivamente grandes.

**-Regularidad en la luces de malla.** Son más constantes en las superficies con menor área pasante, tales como las chapas perforadas. A la contra estarían las parrillas.

**- Relación entre la superficie útil respecto del área total.** Los mayores valores se dan en las mallas de alambre, llegando al 65-75%. Por el contrario estarían las chapas perforadas, con valores de 30-45%.

**-Porcentajes de colmatado debido a las obstrucciones causadas por la humedad, plasticidad, suciedad, etc.** Para disminuir este efecto se utilizan diferentes mecanismos, tales como rejillas de ranuras, parrillas de perfil divergente, varillas flotantes, mallas anticolmatado, golpeadores, resistencias térmicas, etc.

**-La resistencia a las obstrucciones debido a los atascos de partículas difíciles.** Este caso es muy común en cribas de parrillas de barrotes o chapas perforadas de luces cónicas.

Una vez estudiados los puntos anteriores y decidida la superficie más conveniente para el material a procesar, ha de tenerse en cuenta la gama de aberturas admisibles para cada tipo de superficie de cribado. También se tendrá en cuenta el material de la superficie, ya sea este metálico, goma, plástico, poliuretano, nylon, etc.

A continuación en la tabla 1, se puede ver la gama de aberturas admisibles para diferentes superficies de cribado.

(mm)	Tipo
40-300	Parrillas fijas & Movimiento mecánico
4-100	Chapas perforadas
0,10-125	Mallas
3-125	Mallas de resortes
0,038-0,10	Tejidos de tela & nylon
0,1-3	Rejillas de ranuras
0,3-125	Superficies de goma & poliuretano

Tabla 1. Aberturas para los tipos de superficies de cribado.

La función de las cribas consiste en la separación de materiales en diferentes tamaños. En nuestra criba, como el tiempo de calibrado es largo y la malla está orientada de manera horizontal nos asegura el paso de todas las patatas con tamaño inferior al de las aberturas de la malla usada. Para tener una separación bien definida, la luz de malla debe de ser siempre ligeramente mayor que el tamaño del material a separar.

En la práctica, se considera aceptable que un producto contenga un 3-5% de material con dimensiones ligeramente mayores que las del tamaño especificado, tomando eso en cuenta en los factores para la determinación de la capacidad de la criba vibrante.

Por ejemplo, si se quiere obtener un producto de 25 mm, la abertura de la malla de la criba tendrá que ser mayor y el producto contendrá un 5% de partículas con un tamaño ligeramente superior a 25 mm.

En tabla 2 se puede ver una estimación de luz de malla considerada para obtener los productos deseados:

Tamaño del producto	Luz de malla de alambre cuadrada (mm)	Luz de malla de goma cuadrada (mm)
2	3	4,5
4	5	7
5	6,5	8,5
8	10	12
10	12,5	14,5
12	15	17
18	21	23,5
20	23	25,5
25	30	34
30	35	39
40	46	50
50	58	63
60	70	75
70	82	87
80	94	100
100	117	125

Tabla 2. Luz de malla en función del producto.

#### 4.2. Superficie de cribado de mallas metálicas.

Las mallas metálicas, son un conjunto de alambres tejidos de diferentes maneras que dan orificios de forma cuadrada o rectangular. Por ellos pasará o será rechazado el material, en este caso patata, durante el proceso de cribado.

Dada su excelente eficiencia en la clasificación, las mallas más utilizadas en todas las industrias son las de alambre o mallas tejidas en metal. Se les llama así porque son fabricadas en telares especiales, usando hilos o cuerdas de metal, mediante un proceso muy similar al de los telares en los cuales se teje el algodón.

Las mallas metálicas pueden ser de bronce, aluminio o diferentes tipos de aceros. Se encuentran disponibles en un gran número de tamaños de apertura hasta 38 micras en su tamaño mínimo y con un amplio rango de área útil para un mismo tamaño de abertura. Tanto es así, que ningún otro tipo de malla en el mercado ofrece una combinación de aberturas y área útil como la existente en las mallas de alambre.

Entre las principales características se puede decir que este tipo de mallas son fáciles y rápidas de cambiar, no requieren ningún tipo de estructura especial para ser montadas, y son livianas, por lo cual no restan vibración a la criba ni consumen energía adicional. También y debido a su gran área útil son muy eficientes y no restan capacidad de proceso, y tienen un precio asequible.

Debido a su desgaste, este tipo de mallas requieren ser tensadas periódicamente para ofrecer una superficie lisa al material. Si bien para algunos operarios esto es un inconveniente, tiene a su vez la ventaja de permitir una revisión periódica de las mallas.

Para el calibrado de la patata en diferentes tamaños usaremos un tipo de malla cuadrada, ya que no lo exige el Boletín oficial del Estado (BOE).

Las geometrías cuadradas son las más utilizadas cuando se desea realizar una clasificación exacta. Hay dos tipos de mallas cuadradas: onduladas y planas. Nosotros usaremos las mallas cuadradas planas, ya que el otro tipo se usan para calibrar materiales cuyas dimensiones están por debajo del nuestro y por lo tanto no se ajusta a nuestros requisitos de tamaño.

Las mallas cuadradas planas (MCP) tienen una longitud de luz de malla que va desde 12,5 mm a 125 mm y el diámetro del alambre varía de 5 a 16 mm. Con este tipo de malla, el alambre se aprovecha hasta un 85%.

Todos los alambres de las mallas cuadradas planas llevan su onda hacia abajo, por lo que los alambres quedan al mismo nivel, de manera que la superficie por donde se desliza el material es completamente lisa y libre de obstáculos así el material no se ve dañado al producirse la vibración. Como podemos ver, nuestro calibre mínimo de patata según el B.O.E es de 18 mm, dimensión que está dentro del rango de valores que ofrece este tipo de malla.

El diámetro del alambre nos interesa que sea lo mayor posible, así dañará menos al producto en la vibración porque tendrá más superficie de contacto y no se incrustará en la propia patata ni le arrancará piel de la capa exterior, por tanto elegiremos un diámetro de alambre de 12mm.

Una vez elegido el tipo de superficie de cribado, la cual es superficie de cribado de mallas metálicas, el siguiente paso será calcular la superficie de cribado necesaria para nuestro producto.



## 5. SUPERFICIE DE CRIBADO

La superficie de cribado se puede calcular a través de la siguiente fórmula (eq.1):

$$A = \frac{T}{C * M * K * H * D * S * P} \quad (\text{eq.1})$$

Dónde:

A = superficie de cribado en m<sup>2</sup>.

T = T/h de alimentación.

C = factor de capacidad base.

M = factor de sobretamaño.

K = factor de sub tamaño.

H = Factor de humedad.

D = factor de densidad.

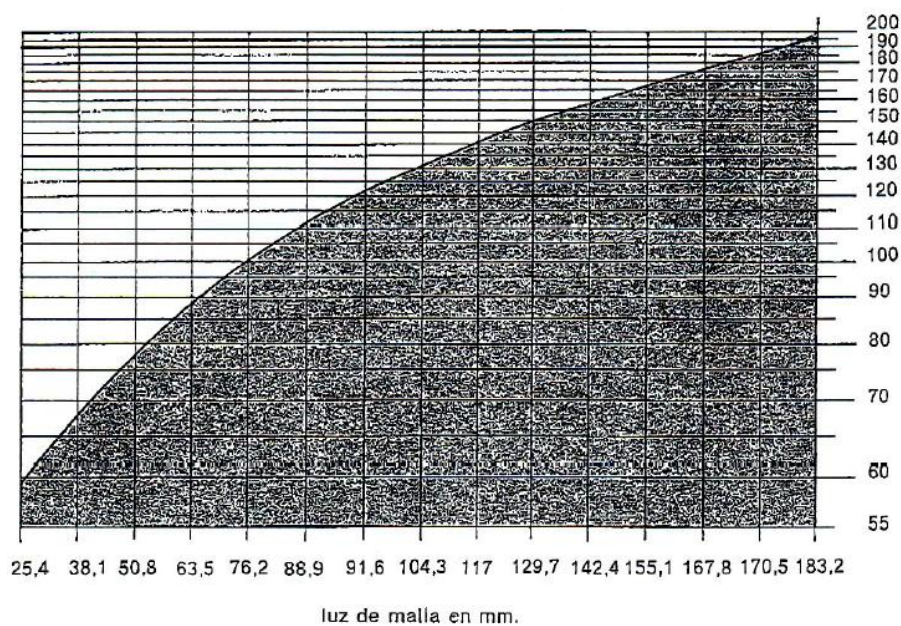
S = factor de superficie útil.

P = factor de piso.

Cada parámetro se calculará mirando unas gráficas según los datos iniciales de los que partamos. Las gráficas son las siguientes:

### 5.1. Factor de capacidad base

Este parámetro varía según la luz de malla que tengamos. En la gráfica 1 se pueden ver los diferentes factores de capacidad base según la luz de malla.

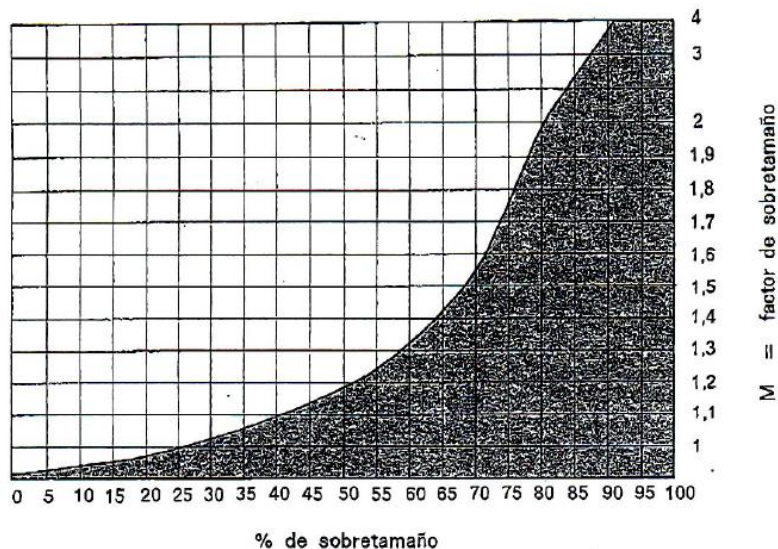


Gráfica 1. Factor de capacidad base.



## 5.2. Factor de sobretamaño

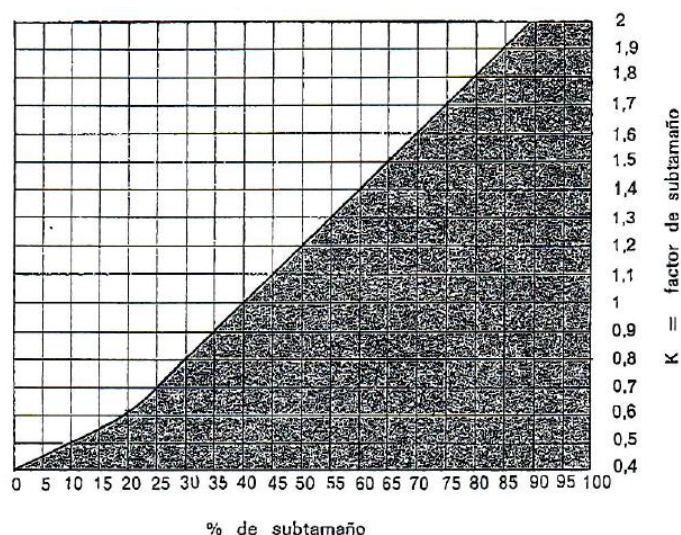
Este factor depende del porcentaje de patatas superiores a la luz de malla, según sea un porcentaje u otro, el factor varía como se muestra en la gráfica 2.



Gráfica 2. Factor de sobretamaño.

## 5.3. Factor de subtamaño

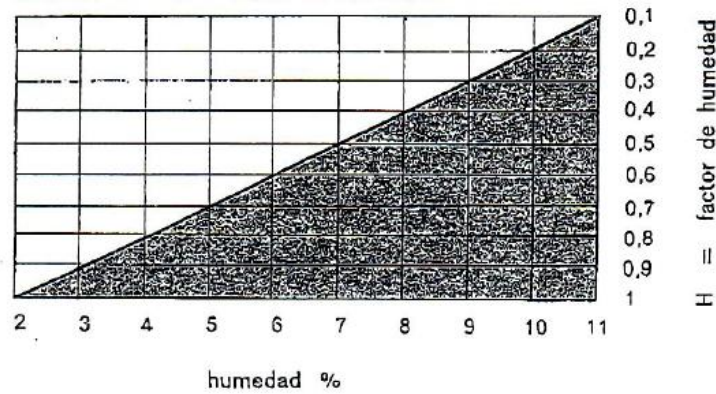
Este factor depende del porcentaje de patatas inferiores a la mitad de la luz de malla. Como en las gráficas anteriores, se puede ver como varía este en función del porcentaje que tengamos de patatas inferiores a la luz de malla.



Gráfica 3. Factor de subtamaño.

#### 5.4. Factor de humedad

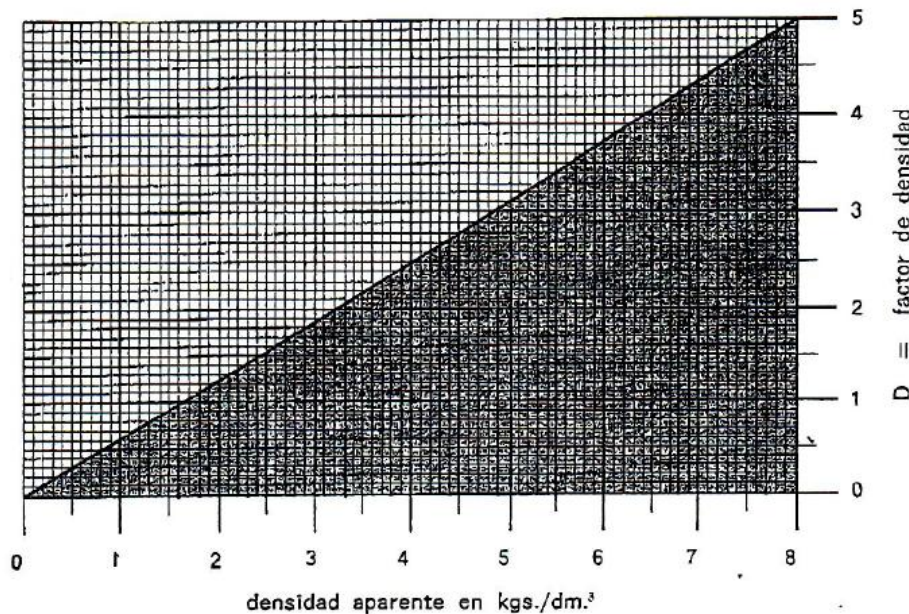
Este factor depende de la humedad del producto, en la gráfica 4 vemos como varía.



Gráfica 4. Factor de humedad.

#### 5.5. Factor de densidad

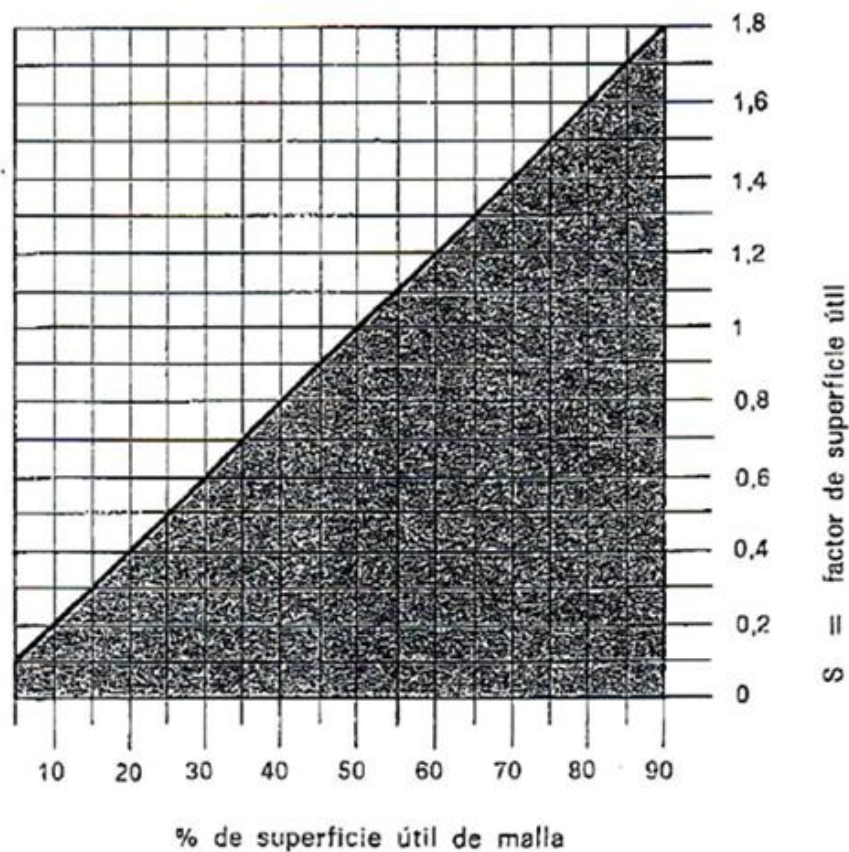
Este factor depende de la densidad del producto a clasificar. En nuestro caso la densidad de las patatas en montón es de 0,7 T/h. Esta densidad es constante por tanto el factor de densidad también lo será. En la gráfica 5 podemos ver que para esta densidad tenemos un factor de densidad de 0,44.



Gráfica 5. Factor de densidad.

### 5.6. Factor de superficie útil

Este factor depende de la superficie útil de malla. Como nuestra malla es metálica cuadrada y de alambre, la superficie útil para este tipo de mallas se estima entre 60-75%. Dado que hemos elegido un alambre con un diámetro considerable, el valor de superficie útil de malla lo consideramos del 65%. Este valor es constante a lo largo de toda la máquina, por tanto el factor de superficie útil también lo será. Este factor, como se aprecia en la gráfica 6, es de 1,3.



Gráfica 6. Factor de superficie útil.



### 5.7. Factor de piso

Este factor depende de los pisos que tenga la máquina. En nuestro caso solo tenemos un piso por tanto el factor de piso es 1, como se ve en la tabla 7.

PISO	P factor
1.º	1
2.º	0,9
3.º	0,75

Gráfica 7. Factor de piso.

## 6. PARÁMETROS DE LAS CRIBAS

Los principales parámetros y factores que actúan sobre las cribas son los siguientes:

- Frecuencia, amplitud del material y longitud del recorrido.
- Velocidad de rotación y aceleración.
- Ángulo de carrera.
- Inclinação de la superficie.
- Velocidad de avance.
- Longitud y anchura de la criba.
- Factor de piso.
- Superficie efectiva de cribado.
- Características de las malla de la criba.
- Alimentación y distribución del material.

### 6.1. Frecuencia, amplitud del material y longitud de recorrido

La distribución del material a procesar no solo influye en la capacidad del proceso, sino que también en la eficiencia de la clasificación. Un factor significativo es la cantidad de material que se queda trabado en las aberturas por ser ambos de un tamaño similar. Es decir, a menudo que aumenta la cantidad de material que es casi del tamaño de las aberturas, disminuye la eficiencia en la clasificación.

La combinación de frecuencia y amplitud permite optimizar la eficiencia de la clasificación, ya que posibilita acercar el material a la superficie de la malla, y a su vez, regular la velocidad de desplazamiento del material.

Se puede decir que la amplitud proporciona la distancia de desplazamiento del material y la frecuencia otorga velocidad al material sobre la malla. Si la amplitud es muy alta, el material es lanzado muy lejos, quitándole la posibilidad de encontrar las aberturas y pasar por ellas.

Se entiende por amplitud a la distancia que se desplaza la criba cada vez que el generador de movimiento causa una pulsación. La amplitud básicamente nos da la distancia a la que el material será lanzado cada vez que el generador de movimiento genere una pulsación. Es importante tener presente que mientras menor sea la amplitud, más cerca de la malla va a estar el material y esto facilita el paso de este a través de las aberturas.

La frecuencia es el número de pulsaciones producidas por el generador de movimiento en un determinado lapso. Se puede ajustar utilizando un variador de frecuencia. El rango de frecuencias en las cribas oscila normalmente entre 650 y 950 rpm, pero algunos tienen frecuencias de hasta 3600 rpm. En la mayoría de las cribas la frecuencia es ajustable. Como nuestro producto es la patata y el objetivo es clasificarlo, una frecuencia recomendada para este caso en concreto es sobre las 750 rpm.

En un proceso de cribado siempre debe de haber una relación entre la frecuencia y la amplitud, una criba no puede ser utilizada a frecuencias altas y amplitudes altas. Lo recomendable es estudiar el manual de operaciones de la criba y determinar cuál es la combinación más adecuada de frecuencia y amplitud para el tipo de material a procesar. Luego de ello, se pueden hacer los ajustes necesarios para optimizar la eficiencia de la criba sin reducir significativamente la capacidad de proceso.

La longitud de recorrido, velocidad de rotación, ángulo de carrera y la pendiente de la criba son parámetros que afectan a la operación de cribado y estos deben ser proporcionales entre sí. La combinación de estos parámetros hace que el material del alimentador empiece a separarse en la caja de alimentación y en la superficie de cribado.

La separación del material es eficiente en una carrera larga, ya que las luces de malla se mantienen despejadas. Con una carrera demasiado corta la amplitud queda corta y la malla de la criba se atasca. En la práctica, la longitud del recorrido en una criba horizontal puede llegar a medir más de 20 metros.

## 6.2. Velocidad de rotación y aceleración

La aceleración de la caja de la criba puede ser calculada en base a la carrera y a velocidad de rotación.

Cuando se incluye el ángulo de carrera y la pendiente en el cálculo, se puede encontrar la aceleración vertical. La aceleración vertical tiene efecto en la eficiencia de cribado y tasa de avance.

Para evitar daños estructurales, no se debe sobrepasar de una aceleración de 6-7 veces superior a g.

Aumentar la velocidad de rotación, tiene efectos muy favorables en la eficiencia del cribado cuando hay instaladas mallas finas o medias. También favorece la capacidad de alimentación y la eficiencia de la malla, ya que no se producen cegamientos en ellas.

## 6.3. Ángulo de carrera

El ángulo de carrera tiene influencia sobre la amplitud y la tasa de avance. El ángulo de carrera más adecuado para cribas horizontales es de 45-60°. Una posición muy vertical puede reducir la tasa de avance pero reduce la eficiencia de cribado. También incrementa la tasa de desgaste de la malla.

Incrementar el ángulo de carrera tiene un efecto favorable en la eficiencia, en los casos de tener instaladas todo tipo de mallas (finas, medias y gruesas) no así la capacidad de alimentación. Dicho incremento también produce un efecto favorable sobre la eficiencia de la malla de obturación.

## 6.4. Inclinación de la superficie

Se puede incrementar la velocidad de avance inclinando la superficie de cribado. Con una inclinación de la superficie muy pronunciada, la carrera debe ser corta para evitar que el material avance rápidamente sobre la malla. La inclinación de la superficie puede ayudar a mantener los orificios de la malla despejados con mayor facilidad que en el caso de una menor inclinación.

Incrementar la inclinación produce un efecto negativo en la eficiencia para todo tipo de mallas, pero muy positivo para la capacidad de alimentación y en la eficiencia de malla de obturación.

Generalmente, para cribados medios y gruesos se emplean cribas inclinadas, siendo la inclinación normal 20°, aunque en algunas cribas puede ajustarse dicha inclinación,

disminuyendo ésta para cortes más finos y aumentando para cortes más gruesos. Existen cribas para clasificaciones finas con inclinaciones entre 5 y 15°.

#### 6.5. Velocidad de avance.

La velocidad de avance tiene influencia sobre la eficiencia y capacidad de cribado. El incremento de la velocidad de avance puede mejorar la eficiencia de cribado y reducir el espesor de la capa del material, en nuestro caso esto se refiere a desprender la tierra que pueda tener la patata.

#### 6.6. Longitud y anchura de la criba.

El espesor de la capa de material no puede ser más de 3-5 veces superior al tamaño del orificio de la malla, en el lado de descarga de la superficie de cribado. Una capa más espesa de material reduce la eficiencia de cribado.

La capacidad de alimentación para cada luz de malla depende de la anchura de la criba. Para un cribado eficiente, el espesor de la capa de material debe ser por lo menos dos veces el diámetro de la luz de la malla en el final de la superficie de cribado. Así, el volumen de sobredimensionado determinará la anchura de la criba.

La criba debe tener una anchura mínima para que la capa de material no tenga un espesor elevado que impida la posibilidad de que las diferentes partículas tengan acceso a la malla.

#### 6.7. Factor de piso.

El factor de piso debe ser considerado en los cálculos de los pisos inferiores de cribas con pisos múltiples. En los pisos inferiores la alimentación disminuye y en el principio del piso y en la dirección del flujo, por este motivo el material próximo al tamaño de separación no es cribado.

En nuestra máquina esto no nos afecta, ya que únicamente tenemos un solo piso de cribado.

#### 6.8. Superficie de cribado efectivo.

Es el área en la que el material pasa a través de la superficie. El área efectiva de cribado es cerca de 0,7-0,9 veces el área total. La superficie total es fijada por los parámetros internos de la criba.

### 6.9. Características de las mallas de la criba.

La selección de la malla de la criba se hace en base a diferentes factores. Dependiendo de la etapa donde esté situada, el empleo de diferentes tipos e mallas puede ser más o menos eficiente.

En la tabla 3 se puede ver una valoración estimada del empleo de las mallas. La valoración está realizada de 0 a 5, siendo cero el caso de nada recomendable y cinco como excelente.

	<b>Malla alambre</b>	<b>Chapa perforada</b>	<b>Poliuretano</b>	<b>Goma normal</b>	<b>Goma antidesgaste</b>
<b>Precibado (Seco)</b>	3-4	4-5	0	0	5
<b>Precibado (Húmedo)</b>	3-4	4	4-5	0	4-5
<b>Secundario (Seco)</b>	4-5	4-6	3-4	4-5	4-5
<b>Secundario (Húmedo)</b>	2-3	2-3	5	3	4-5
<b>Terciario (Seco)</b>	4	3-4	4	5	4-5
<b>Terciario (Húmedo)</b>	4	4	5	4-5	4-5
<b>Partículas finas</b>	5	0	4-5	3	0
<b>Desagües</b>	1-3	1-3	5	3	0

Tabla 3. Valoración para cada tipo de malla.

### 6.10. Alimentación y distribución del material.

La optimización del proceso de cribado comienza en la manera de como el material es alimentado. Muy frecuentemente, los problemas atribuidos al proceso de clasificación en realidad derivan de los sistemas de manejo de materiales y de alimentación de las cribas, lo que indica que estos aspectos deben ser estudiados cuidadosamente al momento de diseñar una planta de clasificación.

Lo primero que hay que evitar es que el material caiga desde una gran altura sobre la plancha de impacto, ya que esto podría ocasionar daños tanto en la criba como en el propio material a clasificar.

Para optimizar el proceso de cribado, el material debe ser alimentado en todo el ancho de la plancha de impacto de modo que cuando se desplace hacia la superficie de la malla cubra el ancho total de ella, teniendo presente que mientras mayor sea la superficie de la malla utilizada mayor será la probabilidad de las partículas de pasar a través de las aberturas durante la clasificación. Además, la alimentación debe mantener un ritmo constante, para asegurar que la cama de material sobre la criba siempre sea pareja, contribuyendo así también a una mejor clasificación del material.



La forma que utilizaremos para alimentar la criba será a través de un alimentador vibratorio o de una cinta transportadora debido a su simpleza de operación y mantenimiento. Gracias al alimentador vibratorio obtendremos una disposición de las patatas homogénea e incluso homogeneizaremos su dirección antes de entrar a la zona donde se encuentra la malla para su clasificado.

Al elegir un alimentador para calibrado vibratorio se debe tener presente que lo que realmente importa es que se alimente la criba a ritmo constante y a todo el ancho de la malla.

## 7. ELECCIÓN DEL TIPO DE CRIBA.

Las cribas se seleccionan en función de las características del material a tratar y el tipo de trabajo a realizar. En nuestro caso el material a tratar es la patata y el trabajo a realizar es el calibrado de esta en diferentes tamaños.

Las principales características a tener en cuenta son la densidad, tamaño máximo de alimentación, forma del producto y el contenido de humedad. Otras características son la presencia de material margoso o arcilloso, es decir, la tierra que viene pegada.

Para que exista cribado es preciso que exista movimiento del material a través de la superficie de cribado y en función del tipo de máquina elegida, la eficiencia del cribado puede aumentar o disminuir.

El movimiento de la criba va a aumentar la probabilidad de que el producto con un tamaño inferior al de la dimensión de malla pase. Este movimiento lo que pretende es presentar el mayor número de veces la abertura al material, aumentando de esta forma la eficiencia de cribado. Hay que seleccionar de forma adecuada la amplitud y la frecuencia de vibración, ya que, a medida que el tamaño de abertura aumenta, la frecuencia de vibración debe disminuir y la amplitud aumentar.

También hay que tener en cuenta la capacidad necesaria de la criba, rangos de separación del producto, conocer la existencia o no de limitaciones de espacio y peso, grado de conocimiento del material a clasificar, etc.

Según el diseño de la superficie, las cribas pueden ser horizontales, de inclinación fija o inclinación variable. Las inclinadas tienen un movimiento circular, en las horizontales puede ser lineal o elíptico. El uso del movimiento lineal permite el transporte horizontal del material, reduciendo la altura de la instalación.

Una forma de clasificar las cribas es por el tipo de movimiento, ya que el movimiento relativo de las partículas y la superficie cribante es muy importante. En la siguiente tabla 4 se puede ver un cuadro resumen con los principales tipos de cribas.

<b>Fijas</b>	Barrotes fijos	
	Chapa o malla fija	
<b>Móviles</b>	<b>Lentas</b>	Barrotes
		Parrilla Ross
		Discos
		Rodillos elípticos
		Trómeles
	<b>Rápidas</b>	De sacudidas
		<b>Resonancia</b>
		Vibración circular
		Vibración electromagnética
		Vibración elíptica
		Vibración rectilínea

Tabla 4. Clasificado de las cribas según el movimiento.

## 8. MÁQUINAS DE CRIBADO EXISTENTE

Las máquinas existentes hoy en día para el calibrado de patatas se pueden dividir en dos tipos básicos atendiendo a su método de separar las patatas.

- Calibrado de rodillos.
- Calibrado por mallas.

### 8.1. Calibrado de rodillos:

El calibrador de rodillos ascendentes se utiliza predominantemente para zanahorias, patatas y cebollas, colocándolos entre dos rodillos que se mueven hacia delante al tiempo que rotan.

Los rodillos están montados sobre una cadena sinfín que se desplaza sobre una serie de rampas. A medida que los rodillos se mueven hacia adelante, cada segundo rodillo se levanta, lo que aumenta la brecha con los otros rodillos, que están fijos en su sitio. Las rampas se mueven a la velocidad adecuada para dar tiempo al producto a girar a ser dimensionado con precisión. Cuando las brechas aumentan hasta el tamaño del producto, éste producto cae a través de una serie de bandas de transporte transversal que transportan el producto a la siguiente fase.

Los rodillos generalmente están hechos de tubos redondos de acero inoxidable liso para productos como las zanahorias. Para patatas o cebollas se utilizan rodillos en plástico con formas que facilitan la sujeción del producto hasta que se desliza por el espacio disponible.

El rango de calibrado de las patatas va de 18 a 127 mm.

A continuación se muestran algunas de las máquinas existentes en la actualidad con sus respectivas características técnicas.

	Capacidad máxima	Calibres	Medidas largo, ancho, alto	KW	Peso
<b>CALDI 2055 C</b>	20 T/h	5	5.567x2.870x2.310 mm	3,7 KW	3.800 Kg
<b>CALDI 1545 C3</b>	15 T/h	3	4.540 x 2.230 x 2.025 mm	3,7 KW	2.400 Kg
<b>CALDI 15TH</b>	15 T/h	4/5	5.565 x 2.230 x 2.025 mm	3,1 KW	2.800 Kg
<b>CALDI 58ZP</b>	8 T/h	4/5	4.500 x 1.500 x 2.025 mm	1 KW	1.700 Kg

Tabla 5. Características técnicas de máquinas existentes (Catálogo Martin maq).



Figura 7. Máquinas de la actualidad (Catálogo de Martin maq).

## 8.2. Calibrado por mallas:

El funcionamiento de este tipo de máquina consiste en hacer pasar la patata por diferentes módulos, los cuales se unen unos con otros. En cada módulo la patata es cribada con un determinado tamaño.

El modo de cribar la patata es hacerla pasar por unas cintas transportadoras con mallas perforadas según el tamaño a cribar. Estas cintas tienen una determinada pendiente ascendente para que la patata que no es clasificada pase al siguiente módulo. A continuación se muestran algunas máquinas existentes en la actualidad.

	Capacidad máxima	Calibres	Medidas largo, ancho, alto	KW	Peso
<b>CMS 1220</b>	10-20 Tm/h	1 + resto	2.206 x 1.591 x 1.135 mm	1,1 KW	300 Kg
<b>CMD 1240</b>	10-20 Tm/h	2 + resto	4.008 x 1.650 x 1.200 mm	2,2 KW	600 Kg
<b>CMT 1255</b>	10-20 Tm/h	3 + resto	5.758 x 1.650 x 1.090 mm	6,1 KW	900 Kg

Tabla 6. Características técnicas de máquinas existentes (Catálogo de Martin maq).



Figura 8. Máquinas de la actualidad (Catálogo de Martin maq).

Nuestra idea de máquina, se asemeja más al segundo tipo por ser un clasificador por mallas, aunque el principio de funcionamiento no tiene nada que ver.

En vez de usar una banda perforada guiada sobre rodillos de diferentes alturas que hace saltar la patata de un módulo a otro por los desniveles, nuestra idea es que la patata sea el único elemento que avance. Esto se consigue con el desplazamiento de la bandeja superior que impulsa la patata con saltos a los cuales se les puede aplicar los principios de balística. Es decir se comporta como un proyectil lanzado con una dirección, sentido y fuerza controlado.

Adaptándonos a las características propias de la patata y el objetivo que se quiere conseguir, clasificarla, se buscará los parámetros de vibración idóneos (amplitud, aceleración y ángulo de incidencia de la línea de fuerza) para esta aplicación concreta.

## 9. CRIBAS DE RESONANCIA.

La resonancia es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza periódica, cuyo periodo de vibración se acerca al periodo de vibración característico de dicho cuerpo, en el cual, una fuerza relativamente pequeña aplicada en forma repetida hace que una amplitud de un sistema oscilante se haga muy grande.

En estas circunstancias el cuerpo vibra, aumentando de forma progresiva la amplitud del movimiento tras cada una de las actuaciones sucesivas de la fuerza. En teoría, si se consiguiera que una pequeña fuerza sobre un sistema oscilara a la misma frecuencia que la frecuencia natural del sistema se produciría una oscilación resultante con una amplitud indeterminada.

Por ejemplo, cuando damos un empujón al columpio, éste va y viene, tardando un cierto tiempo en cada oscilación. A ese tiempo se le llama el periodo de oscilación, y es el inverso de la frecuencia. Si empujamos el columpio al azar, con fuerza constante, a veces lo empujaremos cuando esté viniendo hacia nosotros, con lo cual se detendrá casi por completo, y otras veces lo empujaremos cuando esté empezando a alejarse de nosotros, con lo que conseguiremos elevarlo más. Imaginemos ahora que empujamos el columpio con exactamente su frecuencia natural de oscilación. Es decir, empujamos siempre en el mismo momento, cuando empieza a alejarse de nosotros.

Aunque usemos una fuerza no muy grande, notaremos cómo cada vez el columpio se aleja más, y más, hasta que llegue casi a superar la altura del poste donde está suspendido, momento en el que la cadena se doblará y el columpio caerá sin ser sujetado por la cadena, sufriendo un fuerte tirón repentino al volver a tensarse la cadena. Lo que ha ocurrido es que a base de meter energía en el sistema justo en su frecuencia de resonancia, lo hemos hecho saltar.

Este efecto puede ser destructivo en algunos materiales rígidos como el vaso que se rompe cuando una soprano canta y alcanza y sostiene la frecuencia de resonancia del mismo. Por la misma razón, no se permite el paso por puentes de tropas marcando el paso, ya que pueden entrar en resonancia y derrumbarse.

En Noviembre de 1940, una suave brisa hizo entrar en resonancia al puente colgante de Tacoma Narrows (Estados Unidos). La frecuencia del viento era similar a la frecuencia natural del puente, con lo cual la energía transferida al sistema es la máxima; las ondas estacionarias producidas en el puente empezaron a balancearlo y acabaron colapsándolo.

Para poder hablar de resonancia, necesitamos un sistema que pueda vibrar. Esto no es difícil, ya que la grandísima mayoría de las máquinas, objetos y dispositivos cotidianos a nuestro alrededor vibran. Tomemos un vaso y démosle un golpe con el dedo. El vaso emite un tono que se va apagando. Si el vaso es muy grueso, el tono se apaga enseguida; si el vaso es de paredes muy delgadas, tipo copa de champán, pues durará más.

La frecuencia a la que vibra un objeto cuando le damos un toque se llama su frecuencia natural de vibración y cada cuerpo tiene la suya. Normalmente necesitaremos cuerpos de paredes delgadas y materiales rígidos, pues los cuerpos masivos o blandos tienden a amortiguar la vibración demasiado rápido.

Las cribas de resonancia transmiten menos vibraciones a la estructura portante y tienen un menor consumo energético. En general, están constituidas por un cajón que constituye la criba propiamente dicha y un bastidor que está unido de forma elástica mediante ballestas o placas de flexión.

El bastidor móvil o masa de reacción (parte de abajo) se calcula con una masa mayor que la bandeja, suele ser entre dos y tres veces mayor para que su movimiento sea de mucha menor amplitud, y va apoyada sobre antivibrantes elásticos que permiten su movimiento, pero no la transmisión de vibraciones.

La operación de una criba de resonancia depende de la interacción de dos masas oscilatorias o bastidores que están unidas entre ellas, y su movimiento está restringido en la dirección de unas ballestas.

La fuente de potencia puede ser diversa, en nuestro caso son dos motovibradores eléctricos rotativos de idénticas características convenientemente posicionados y girando uno en sentido horario y otro anti horario. Al girar en sentidos opuestos conseguimos que la vibración rotacional se transforme en unidireccional.

Si se excita uno de los bastidores, reacciona a través de las ballestas, las cuales limitan la amplitud y la energía almacenada para la amplitud de rebote. Ya que las dos masas



están dispuestas a punto para accionar y reaccionar en direcciones opuestas, la cantidad de vibración es mínima y la potencia requerida solo es la que necesita para trasladar el material y superar las pérdidas de fricción. En la figura 9 se puede ver un esquema de una criba de resonancia.



Figura 9. Criba de resonancia para áridos de construcciones AZLO S.A.

Las cribas resonantes tienen dos características fundamentales:

- Bajos requerimientos de potencia** porque se aprovecha la capacidad de almacenar y devolver energía de las ballestas y solo consume la energía necesaria para mantener el movimiento.

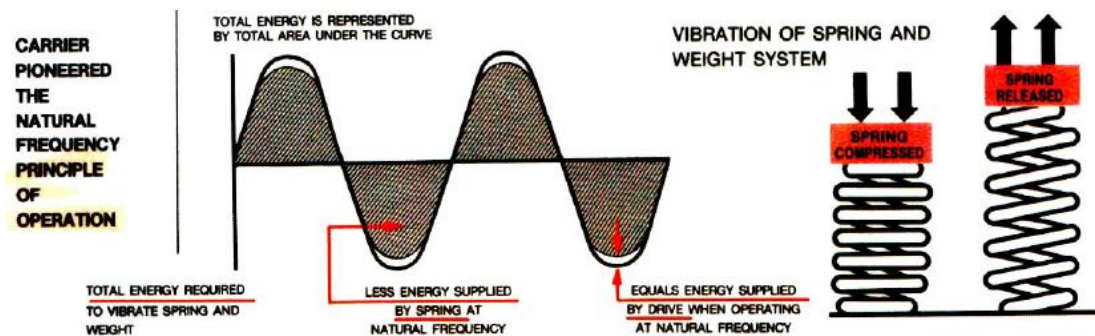


Figura 10. Energía necesaria aportada para mantener el movimiento (Catálogo de Carrier).

- Vibración mínima transmitida a la estructura soporte** debido a que son máquinas de baja aceleración.

Debido a las escasas fuerzas dinámicas, es suficiente una estructura con una construcción ligera. Necesita poco espacio en altura.

### 9.1. Accionamiento de la criba.

Hay una gran variedad de fuentes de potencia para propulsar un equipo de vibración. Algunos ejemplos de fuentes de potencias para las cribas vibrantes son los motores eléctricos, los motovibradores eléctricos rotativos los motores hidráulicos y los motores de combustión interna alternativos.

Nosotros usaremos un motovibrador eléctrico rotativo, que es un motor eléctrico con doble eje y dos excéntricas. Se trata de motores eléctricos de jaula de ardilla de 2, 4, 6 y 8 polos con rotor en corto circuito, con un doble eje central al que a ambos lados se acoplan solidarias sendas masas excéntricas regulables.

El objetivo del motovibrador es transformar la energía eléctrica adsorbida de la red en energía mecánica en forma de fuerza centrífuga y momento.



Figura 11. Motovibrador serie MVSI (Catálogo Italtvibras).

Concretamente usaremos dos, que como hemos dicho anteriormente serán de idénticas características convenientemente posicionados y girando uno en sentido horario y otro anti horario.

La fuerza centrífuga generada por un solo motovibrador se ejerce en todas direcciones, es una fuerza rotacional. Para conseguir una fuerza unidireccional es necesario aplicar sobre la estructura a vibrar dos motores vibradores idénticos girando en sentido contrario, uno horario y otro anti horario, no importando el sentido de rotación de cada uno de ellos.



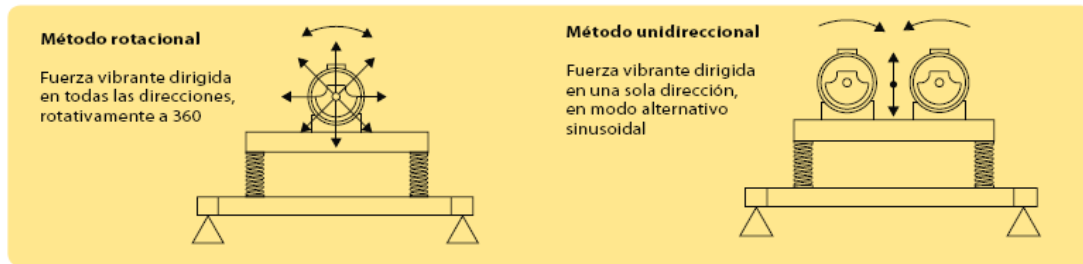


Figura 12. Sentido de rotación de los motovibradores (Catálogo de Italvibras).

Esta fuerza unidireccional se explica al descomponer la fuerza centrífuga de cada uno de los motovibradores en sus componentes vertical y horizontal, al ser iguales y de sentido contrario las dos componentes horizontales se anulan. Por el contrario las verticales se suman, siendo esta fuerza unidireccional de naturaleza senoidal, con máximo de  $+2Fc$  y mínimo  $-2Fc$ .

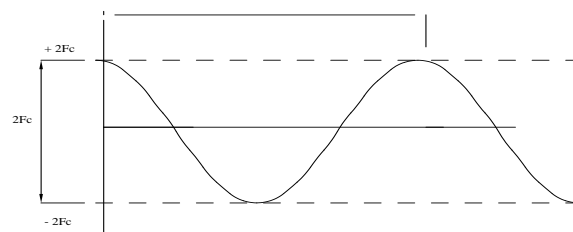


Figura 13. Representación de la fuerza unidireccional (Catálogo de Italvibras).

Por tanto en la aplicación de dos motovibradores eléctricos rotativos con el fin de obtener vibraciones unidireccionales deberemos tener en cuenta que los motovibradores sean de iguales característica y giren en sentidos opuestos y en fase. La lineal de acción de fuerza deberá pasar por el centro de masas de la estructura de los vibradores ya instalados. Estos irán atornillados al bastidor inferior o masa de reacción con los pares de aprietes y tornillos adecuados.

La ventaja de este tipo de accionamiento frente a otros, por ejemplo motor eléctrico más sistema de excéntricas externas, es que no necesita de ningún mecanismo adicional como poleas o engranajes para transmitir la fuerza tractora a la criba.

## 9.2. Ballestas.

Las ballestas son elementos elásticos capaces de absorber y ceder energía y funcionan como soporte físico entre los dos bastidores de la criba.

En la siguiente figura se muestra como es una ballesta.



Figura 14. Ballestas colocadas ya en la máquina (Catálogo de Prause Durotec).

Las ballestas vienen en planchas de 1 m<sup>2</sup> con diferentes espesores y se cortan según la dirección aconsejada en las medidas que el fabricante cree oportuno. Nosotros usaremos ballestas de fibra de vidrio, ya que nuestro material a transportar no es muy pesado y son las que mejores prestaciones nos dan a nuestra criba.

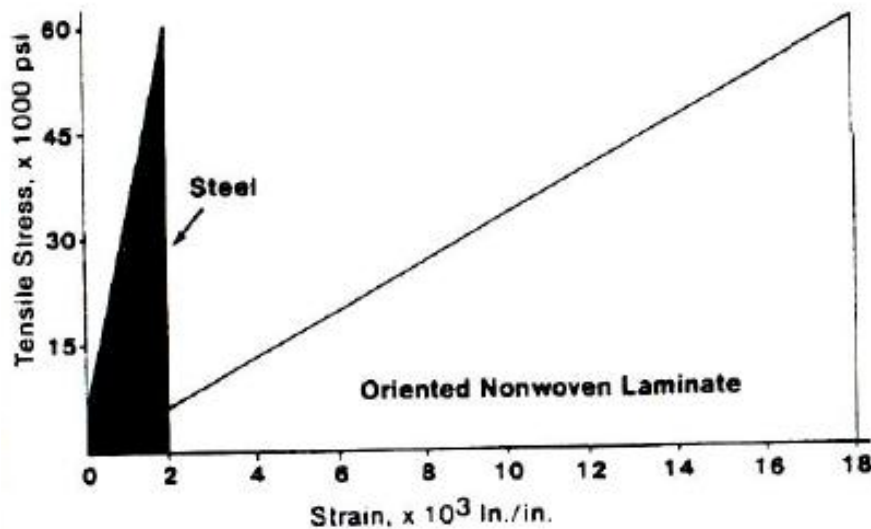
El plástico reforzado de fibra de vidrio fue introducido por primera vez para la fabricación de ballestas transportadoras vibrantes en 1954. Desde entonces las ballestas de fibra de vidrio han sido usadas con éxito en una amplia gama de transportadores vibratorios, cargadores y equipos de protección, provistos de una duración infinita y una alta resistencia a la corrosión, incluso bajo severas condiciones atmosféricas.

Las ventajas de este material incluyen su alta resistencia, que sirve para equilibrar grandes niveles de carga; excelentes cualidades de durabilidad; fácil modificación a sus necesidades; con fáciles técnicas de moldeo, manejabilidad, resistencia a los productos químicos y a la humedad, baja sensibilidad a los cortes, buena dureza, buen aislador térmico y con propiedades estupendas como amortiguador mecánico.

Las ballestas de planchas lisas usadas en transportadores vibratorios y otros equipos vibratorios están sujetas a grandes fuerzas que las doblan en un único plano. Para acomodar estas y otras más pequeñas fuerzas de torsión, las cuales pueden desarrollarse debido al deslizamiento u otras razones, fue en 1954 desarrollado y patentado el diseño de una ballesta cuyos filamentos de vidrio continuos están orientados longitudinalmente (en la dirección de la mayor curvatura) en la superficie en la superficie y núcleo de las capas. Del 10% al 15% de los filamentos de vidrio bajo

la superficie de las capas están orientados 90° hacia la dirección primaria de la curvatura para aportar la fuerza de torsión requerida. Este diseño se llama "configuración de ballesta".

Este material de ballesta tiene una alta capacidad para almacenar energía, lo cual lo hace todavía más útil como material para ballestas. Esto está ilustrado en la gráfica 8, donde esta propiedad es comparada para plástico reforzado orientado y acero. Los relativos bajos módulos de elasticidad del compuesto, unido con su gran fuerza, da como resultado una capacidad de almacenamiento de energía nueve veces mayor que la ballesta de acero 1060.



Gráfica 8. Capacidad de almacenar energía del acero y de la fibra de carbono. Gráfica del manual de "Ballestas de plástico reforzado para aparato transportador vibratorio" por G.L. Hinveber.

Como se puede observar, el plástico reforzado sin curvar de fibra de vidrio tiene nueve veces más capacidad de almacenamiento de energía que la ballesta de acero 1060. El área bajo la curva de presión de torcedura es una medida de la habilidad del material para almacenar energía útil cuando este se deforma.

Para el diseño de las ballestas para una criba de frecuencia natural hay que tener en cuenta los siguientes parámetros.

- Peso de la bandeja (parte de la máquina encima de la base de la que las ballestas son sujetas).
- Peso total del material transportado.
- Tipo de material transportado.
- Número de ballestas soportando la bandeja.
- Número de ballestas por asa.
- Frecuencia de operación deseada.
- Anchura de la ballesta deseada.
- Largura total deseada de la ballesta.
- Largura sin apoyo de las ballestas deseadas.
- Máxima temperatura de trabajo.
- Deflexión total de la ballesta.

La criba, al vibrar, no se puede apoyar directamente en el suelo ya que lo rompería, por tanto hay que utilizar un sistema antivibrante para que esto no se produzca.

### 9.3. Antivibrantes.

Son elementos elásticos de forma, dimensión y calidad variable, que al aplicarles una fuerza se deforma y que al cesar dicha fuerza vuelven a su estado geométrico inicial. La diferencia de estados, aplicada la fuerza o no, definen al antivibrante.

Los elastómeros son elementos elásticos capaces de absorber y amortiguar fuerzas, tanto de impacto como constantes. A un determinado desplazamiento de compresión, le corresponde una fuerza elástica para alcanzar dicho desplazamiento.

Los elastómeros son usados tanto en sustitución del muelle helicoidal tradicional en matrices u otras aplicaciones, como para la absorción de energía o amortiguación en múltiples aplicaciones industriales.

La característica principal en comparación con los muelles de acero es la fiabilidad en situaciones de emergencia, ofreciendo una larga vida de servicio sin mantenimiento. Los elastómeros poseen una mayor resistencia a la sobrecarga así como una excelente capacidad de absorción de impactos.

## 10. DISEÑO DE LA MÁQUINA.

Lo primero que tenemos que hacer es definir los objetivos que queremos conseguir. Nuestro principal objetivo es clasificar la patata que nos viene directa de su recolección del campo en 7 tamaños diferentes. Para conseguir esto tendremos que poner 6 tamaños diferentes de malla. Otro objetivo fijado es alcanzar un clasificado de patata en diferentes tamaños de 35 T/h.

### 10.1. Bandeja

El primer paso es calcular la superficie de cribado en cada sección de tamaño de malla. Para calcularlo hemos supuesto que del total de todas las patatas procedentes del campo, el 20% es de un tamaño menor a 30 mm, el 70% está entre 30 mm y 80 mm y el 10% es superior a 80 mm. Dentro del 70% que comprenden las patatas que van de 30 a 80 mm, tenemos que de 30 a 40 mm, de 40 a 50mm, de 50 a 60 mm, de 60 a 70 mm y de 70 a 80 mm, hay un 20% de patatas para cada rango de tamaños respectivamente.

A continuación se calculará tramo por tramo la superficie de malla necesaria.

#### 10.1.1. Cálculo de la superficie de cribado para cada tramo de la malla.

##### ➤ Tramo 1

En el primer tramo de la criba, lo que queremos conseguir es apartar toda patata cuyo tamaño sea menor a 30 mm.

Datos		
Capacidad de alimentación	35	T/h
Densidad (por montón)	0,7	Kg/dm <sup>3</sup>
Humedad	2	%
Luz de malla	35	mm
Material superior a la luz de malla	80	%
Material inferior a la mitad de la luz de malla	5	%
Superficie útil de la malla	65	%
Piso	1	

Tabla 7. Datos iniciales para el tramo 1.

En base a estos datos vamos a calcular unos parámetros por los cuales calcularemos la superficie de malla necesaria. La superficie de malla necesaria, se calcula según la ecuación (eq.1) expuesta en el apartado 5.

Para calcular cada parámetro iremos a las tablas citadas en el apartado 5 y miraremos en la tabla correspondiente para cada factor. El valor de los diferentes factores es el siguiente:

Factor de capacidad base = 65.

Factor de sobretamaño = 1,9.

Factor de sub tamaño = 0,4.

Factor de humedad = 1.

Factor de densidad = 0,44.

Factor de superficie = 1,3.

Factor de piso = 1.

Factor de luz de malla = 45,72.

Una vez tenemos todos los parámetros, los metemos en la eq.1 y obtenemos una superficie mínima de malla de  $1,25 \text{ m}^2$ . Como este tramo, al ser el primero, lo queremos aprovechar para que la patata se distribuya de forma homogénea por toda la anchura de la criba, le daremos una superficie mayor a la que hemos obtenido. Al tramo 1 le daremos una superficie de malla de  $2 \text{ m}^2$ .

#### ➤ Tramo 2

En este tramo vamos a clasificar la patata que está entre 30 mm y 40 mm. La forma de calcular la superficie de cribado para este tramo es la misma que para el tramo 1. Se usaran las mismas tablas y lo único que cambiara son los datos de partida y los parámetros a meter en la ecuación del apartado 5, (eq.1).

Datos		
Capacidad de alimentación	28	T/h
Densidad (por montón)	0,7	Kg/dm <sup>3</sup>
Humedad	2	%
Luz de malla	46	mm
Material superior a la luz de malla	80	%
Material inferior a la mitad de la luz de malla	5	%
Superficie útil de la malla	65	%
Piso	1	

Tabla 8. Datos iniciales para el tramo 2.

Con estos datos de partida los parámetros se calculan del mismo modo que en el tramo 1. Hay que ir a cada tabla correspondiente a cada parámetro e identificar su valor utilizando los datos iniciales. Nos dan los siguientes parámetros:

C= factor de capacidad base = 75.

M= factor de sobretamaño = 1,9.

K = factor de sub tamaño = 0,4.

H= factor de humedad = 1.  
 D = factor de densidad = 0,44.  
 S = Factor de superficie = 1,3.  
 P = factor de piso = 1.  
 U = factor de luz de malla = 45,72.

Metiendo estos valores a la ecuación, tenemos una superficie mínima de malla de malla de 0,86 m<sup>2</sup>. Para una mejor eficiencia en el clasificado y no correr riesgos de que se quede material sin clasificar daremos una superficie de malla mayor, ya que a mayor superficie aseguramos un mejor clasificado. Nuestra superficie será de 2 a 2,5 veces mayor a la superficie mínima de malla. La superficie de malla del tramo 2 será de 1,5 m<sup>2</sup>.

➤ Tramo 3.

Para el tramo 3 seguiremos el mismo mecanismo de cálculo que para los otros dos, lo único que cambiará son los datos iniciales y los parámetros de cálculo. En este tramo clasificaremos las patatas comprendidas entre 40 y 50 mm.

Datos		
Capacidad de alimentación	22,4	T/h
Densidad (por montón)	0,7	Kg/dm <sup>3</sup>
Humedad	2	%
Luz de malla	58	mm
Material superior a la luz de malla	80	%
Material inferior a la mitad de la luz de malla	5	%
Superficie útil de la malla	65	%
Piso	1	

Tabla 9. Datos iniciales para el tramo 3.

Con estos datos de partida los parámetros se calculan del mismo modo que en el tramo 1. Hay que ir a cada tabla correspondiente a cada parámetro e identificar su valor utilizando los datos iniciales. Nos dan los siguientes parámetros:

C= factor de capacidad base = 85.  
 M= factor de sobretamaño = 1,9.  
 K = factor de sub tamaño = 0,4.  
 H= factor de humedad = 1.  
 D = factor de densidad = 0,44.  
 S = Factor de superficie = 1,3.  
 P = factor de piso = 1.  
 U = factor de luz de malla = 45,72.

Metiendo estos valores a la eq.1, tenemos una superficie mínima de malla de malla de  $0,61 \text{ m}^2$ . Para una mejor eficiencia en el clasificado y no correr riesgos de que se quede material sin clasificar daremos una superficie de malla mayor, ya que a mayor superficie aseguramos un mejor clasificado. Nuestra superficie será de 2 a 2,5 veces mayor a la superficie mínima de malla. Este tramo será de  $1 \text{ m}^2$ .

➤ Tramo 4.

En este tramo clasificaremos las patatas comprendidas entre 50 y 60 mm. Los cálculos se realizarán de igual modo que para los anteriores. Para este tramo los datos son los siguientes:

Datos		
Capacidad de alimentación	17,92	T/h
Densidad (por montón)	0,7	Kg/dm <sup>3</sup>
Humedad	2	%
Luz de malla	70	mm
Material superior a la luz de malla	80	%
Material inferior a la mitad de la luz de malla	5	%
Superficie útil de la malla	65	%
Piso	1	

Tabla 10. Datos iniciales para el tramo 4.

Con estos datos de partida los parámetros se calculan del mismo modo que en el tramo 1. Hay que ir a cada tabla correspondiente a cada parámetro e identificar su valor utilizando los datos iniciales. Nos dan los siguientes parámetros:

C= factor de capacidad base = 95.

M= factor de sobretamaño = 1,9.

K = factor de sub tamaño = 0,4.

H= factor de humedad = 1.

D = factor de densidad = 0,44.

S = Factor de superficie = 1,3.

P = factor de piso = 1.

U = factor de luz de malla = 45,72.

Metiendo estos valores a la eq.1, tenemos una superficie mínima de malla de malla de  $0,44 \text{ m}^2$ . Para una mejor eficiencia en el clasificado y no correr riesgos de que se quede material sin clasificar daremos una superficie de malla mayor, ya que a mayor superficie aseguramos un mejor clasificado. Nuestra superficie para este tramo será también de  $1 \text{ m}^2$ .



➤ Tramo 5.

En este tramo clasificaremos las patatas comprendidas entre 60 y 70 mm. Los cálculos se realizarán de igual modo que para los anteriores. Para este tramo los datos son los siguientes.

Datos		
Capacidad de alimentación	14,336	T/h
Densidad (por montón)	0,7	Kg/dm <sup>3</sup>
Humedad	2	%
Luz de malla	82	mm
Material superior a la luz de malla	80	%
Material inferior a la mitad de la luz de malla	5	%
Superficie útil de la malla	65	%
Piso	1	

Tabla 11. Datos iniciales para el tramo 5.

Con estos datos de partida los parámetros se calculan del mismo modo que en los tramos anteriores. Hay que ir a cada tabla correspondiente a cada parámetro e identificar su valor utilizando los datos iniciales. Nos dan los siguientes parámetros:

C = factor de capacidad base = 105.

M= factor de sobretamaño = 1,9.

K = factor de sub tamaño = 0,4.

H= factor de humedad = 1.

D = factor de densidad = 0,44.

S = Factor de superficie = 1,3.

P = factor de piso = 1.

U = factor de luz de malla = 45,72.

Metiendo estos valores a la eq.1, tenemos una superficie mínima de malla de malla de 0,32 m<sup>2</sup>. Para una mejor eficiencia en el clasificado y no correr riesgos de que se quede material sin clasificar daremos una superficie de malla mayor, ya que a mayor superficie aseguramos un mejor clasificado. Nuestra superficie cribado será de 1 m<sup>2</sup>.

➤ Tramo 6.

En este tramo vamos a clasificar la patata que está entre 70 mm y 80 mm. La forma de calcular la superficie de cribado para este tramo es la misma que para el tramo 1. Se usaran las mismas tablas y lo único que cambiara son los datos de partida y los parámetros a meter en la eq.1, del apartado 5.

Datos		
Capacidad de alimentación	11,47	T/h
Densidad (por montón)	0,7	Kg/dm <sup>3</sup>
Humedad	2	%
Luz de malla	94	mm
Material superior a la luz de malla	80	%
Material inferior a la mitad de la luz de malla	5	%
Superficie útil de la malla	65	%
Piso	1	

Tabla 12. Datos iniciales para el tramo 6.

Con estos datos de partida los parámetros se calculan del mismo modo que en los tramos anteriores. Hay que ir a cada tabla correspondiente a cada parámetro e identificar su valor utilizando los datos iniciales. Nos dan los siguientes parámetros:

C = factor de capacidad base = 120.

M= factor de sobretamaño = 1,9.

K = factor de sub tamaño = 0,4.

H= factor de humedad = 1.

D = factor de densidad = 0,44.

S = Factor de superficie = 1,3.

P = factor de piso = 1.

U = factor de luz de malla = 45,72.

Metiendo estos valores a la ecuación, tenemos una superficie mínima de malla de malla de 0,22 m<sup>2</sup>. Para una mejor eficiencia en el clasificado y no correr riesgos de que se quede material sin clasificar daremos una superficie de malla mayor, ya que a mayor superficie aseguramos un mejor clasificado. Nuestra superficie será de 2 a 3 veces mayor a la superficie mínima de malla. Por tanto tendremos una superficie de cribado para este tramo de 0,5 m<sup>2</sup>.

Por último, las patatas cuyo tamaño sea mayor a 80 mm, saldrán por el extremo de la criba sin ser calibradas por ningún tipo de malla. Tendremos un total de 7 clasificaciones de patatas.

#### 10.1.2. Peso de las chapas y apoyos superiores.

Una vez hemos calculado el largo de la bandeja superior, el siguiente paso será calcular su peso. El material seleccionado para la fabricación de esta será acero inoxidable AISI 304. Éste es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidables de la serie 300. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado, no requiere recocido tras la soldadura.

- Propiedades mecánicas:

Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI)  
 Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI)  
 Elongación 30 % (en 50mm)  
 Reducción de área 40 %  
 Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

- **Propiedades físicas: densidad 7,8 g/cm<sup>3</sup>**

- Propiedades químicas:

0.08 % C mín  
 2.00 % Mn 1.00 % Si  
 18.0 – 20.0 % Cr  
 8.0 – 10.5 % Ni  
 0.045 % P  
 0.03 % S

Nuestra bandeja se compondrá por dos chapas de este tipo de acero de 7 metros de largo, 0,30 metros de ancho y 6 milímetros de espesor, por tanto tenemos una chapa de 0,0126 m<sup>3</sup> (12600 cm<sup>3</sup>). El peso de la chapa, ya que conocemos la densidad, será de 98,28 Kg. Como tenemos dos chapas, la bandeja superior pesará 196,56 Kg.

Además, hay que tener en cuenta el peso de unos apoyos que soldaremos en los laterales de las chapas en donde irán atornilladas las ballestas. Habrá en total 30 apoyos, estos apoyos serán de acero inoxidable, y cada uno pesará 5,8 Kg. Por tanto, todos ellos sumarán un peso de 174 Kg.

La chapa que cierra la bandeja y une las dos chapas de los laterales tiene unas dimensiones de 1012x200x10 mm, es del mismo material que las chapas anteriores y tiene un peso de 16,192 Kg.

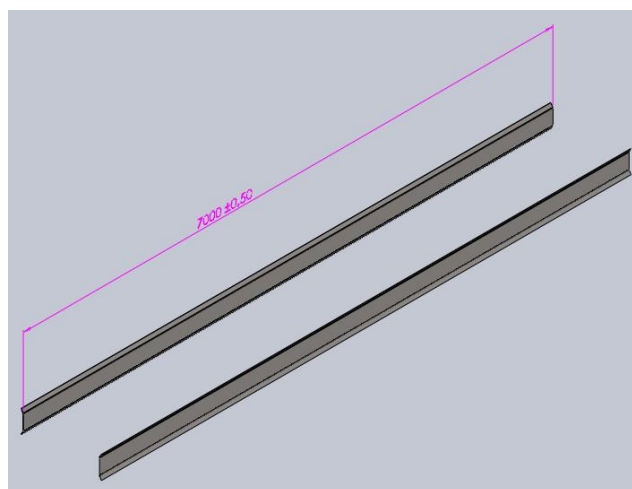


Figura 15. Chapas laterales de la bandeja (SolidWorks).

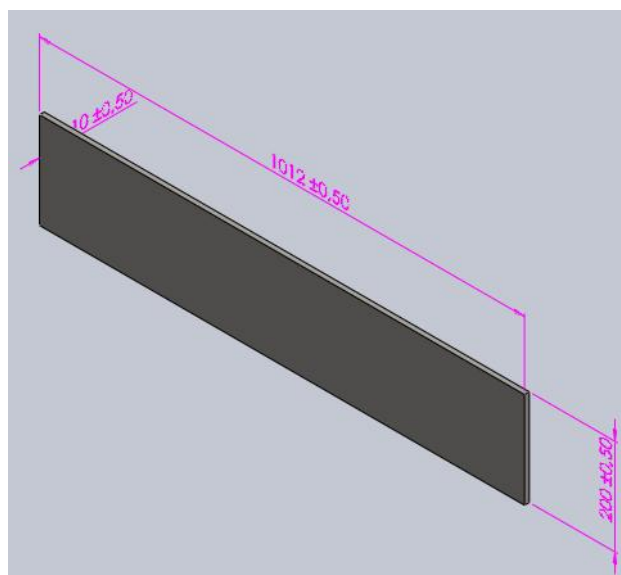


Figura 16. Chapa que cierra uno de los extremos de la bandeja (SolidWorks).

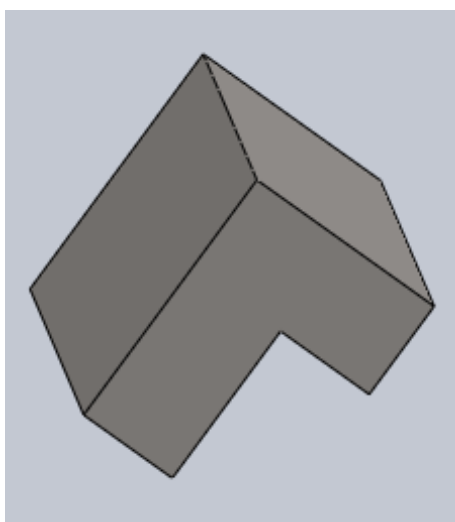


Figura 17. Apoyo superior de la ballesta (SolidWorks).

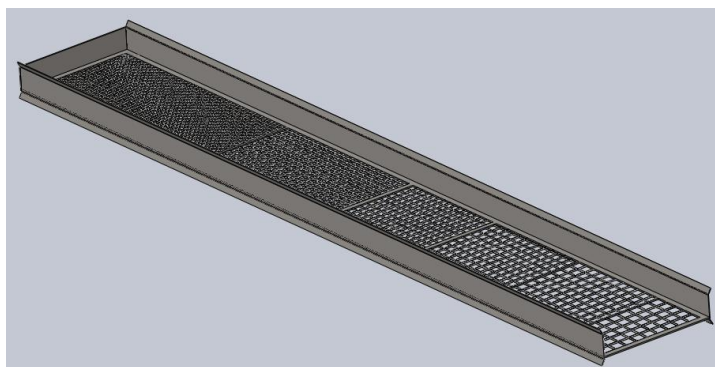


Figura 18. Ensamblaje de la bandeja (SolidWorks).

### 10.1.3. Peso de la malla

Para calcular el peso de la malla lo que hemos hecho ha sido dibujar en el SolidWorks la malla con su dimensión adecuada. Una vez dibujada con sus respectivos tramos con sus diferentes luces de malla, le hemos indicado al programa que el material de la malla sea de acero inoxidable AISI 304. Posteriormente hemos ido a cálculos y en propiedades físicas hemos visto su peso. La malla tiene un peso de 257,3 Kg.

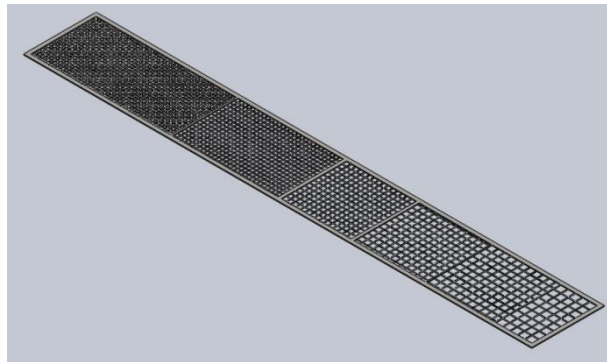


Figura 19. Malla de la criba (SolidWorks).

### 10.1.4. Peso de las patatas en la bandeja.

Nuestro objetivo que hemos fijado es que la máquina sea capaz de clasificar 35 T/h de patatas. La densidad de la patata en montón es de  $0,7 \text{ T/m}^3$ . Por tanto, si dividimos las 35 T/h que queremos clasificar entre la densidad de la patata en montón, obtendremos el caudal de alimentación de la criba. Este caudal es de  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Para calcular la velocidad aplicamos la siguiente ecuación:

$$Q = v \times S \quad (\text{eq.2})$$

Donde;

Q = caudal de alimentación ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

V = velocidad lineal ( $\text{m/h}$ )

S = sección de la criba ( $\text{m}^2$ )

Como conocemos tanto el caudal como la sección, despejando nos da una velocidad de avance de  $333,33 \text{ m/h}$ . Para determinar la velocidad real le aplicamos un coeficiente de seguridad de 1,3.

Así la velocidad teórica para los cálculos será de  $432 \text{ m/h}$  ( $7,2 \text{ m/min}$ ).

Nuestra criba mide 7 m de largo, por tanto si dividimos la velocidad teórica entre la longitud de la criba, obtendremos las veces que se recorre la criba por hora. Este valor es de 61 cintas por hora.

Para saber los kilos de patatas que hay en la criba en cada una de esas cintas, dividimos las 35 T/h entre las veces que se recorre la criba en una hora. Nos da un valor de 573 Kg.

Como las patatas no están todas en contacto continuo con la criba, ya que van saltando, se consideramos una quinta parte del peso de las patatas. Por tanto, nuestro peso de patatas en cada instante en la criba es de 105 Kg.

Sumando tanto el peso de las chapas, el peso de la malla, el peso de los apoyaderos y el peso de las patatas, nos da un peso de bandeja de unos 750 Kg.

## 10.2. Base

Una vez tenemos el peso de la bandeja, el peso de la base de la máquina, según la teoría, será entre 2 y 3 veces el peso de la bandeja.

La base la haremos de cuatro perfiles de hierro en U, simétricos dos a dos con una separación de 1 m. En la pareja de perfiles habrá una separación de unos 10 cm. Entre ambos perfiles irán unas chapas soldadas con una inclinación de 45°, en donde irán apoyadas y atornilladas las ballestas por la parte inferior. Como tenemos 15 puntos de apoyo, tendremos 30 chapas soldadas, ya que tenemos dos parejas de perfiles.

Para darle una mayor estabilidad a la estructura, soldaremos cuatro barras de hierro que abarquen los cuatro perfiles de manera homogénea, por la parte inferior a estos. Sobre estas barras colocaremos dieciséis tacos de goma para aislar la vibración de la máquina del suelo.

El diseño de la base, dibujada en SolidWorks, lo podemos ver en la figura 19.

El peso de los cuatro perfiles de hierro es de 1121,231 kg.

Las chapas de acero inoxidable soldadas en los perfiles a 45 ° de inclinación pesan 1,8 Kg cada una, como hay 30 chapas, hacen un total de 54 Kg.

Los 16 tacos de goma pesan cada uno 1,11283 Kg, por tanto, en total pesan 17,8 Kg.

Los dos motovibradores para para accionar la criba pesan cada uno 48 Kg.

Las chapas que unen los perfiles por la parte inferior en las que van los apoyos para aislarlo del suelo pesan 48,4788 Kg cada una. Como son cuatro hacen un total de 193,92 Kg.

Así pues, tenemos un peso en la base de unos 1700 Kg.

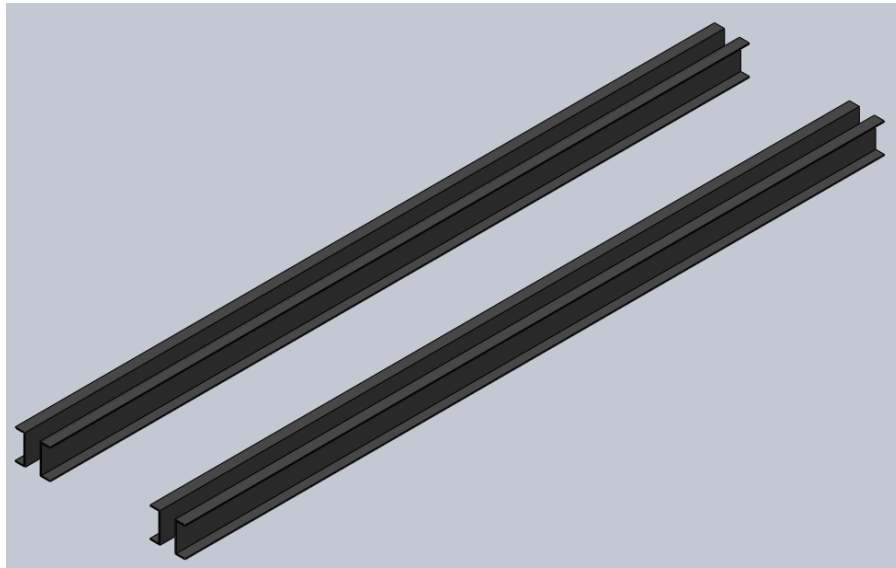


Figura 20. Perfiles en U de la base (SolidWorks).

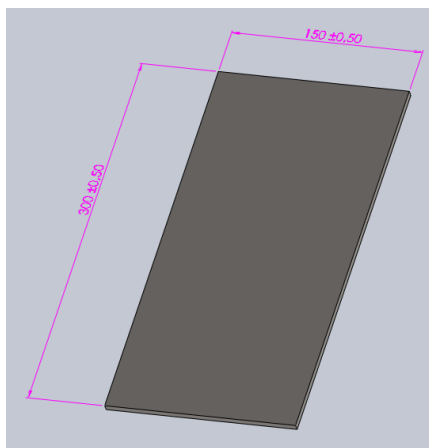


Figura 21. Chapas soldadas a los perfiles en U a  $45^\circ$  donde se apoya la parte inferior de la ballesta (SolidWorks).

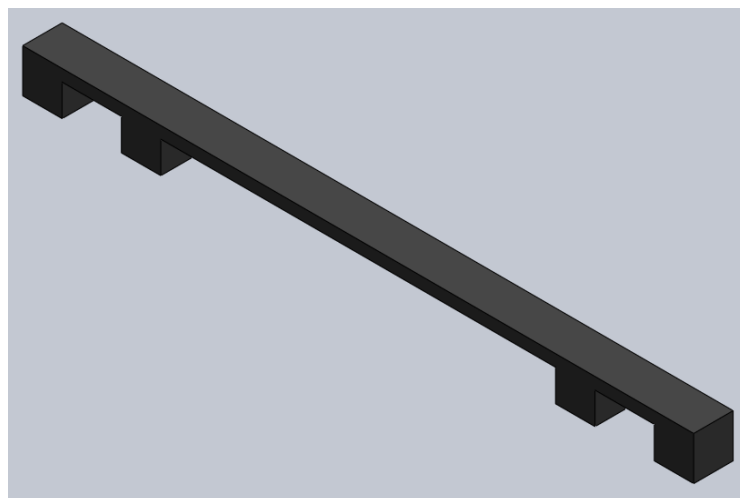


Figura 22. Perfiles soldados en los perfiles en U por la parte inferior (SolidWorks).



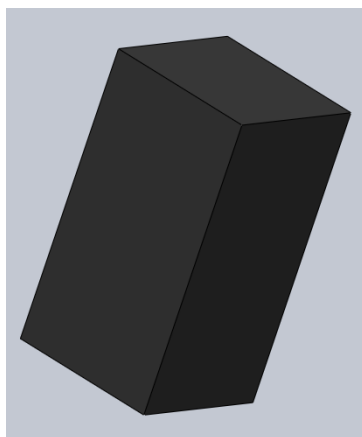


Figura 23. Antivibrante (SolidWorks).

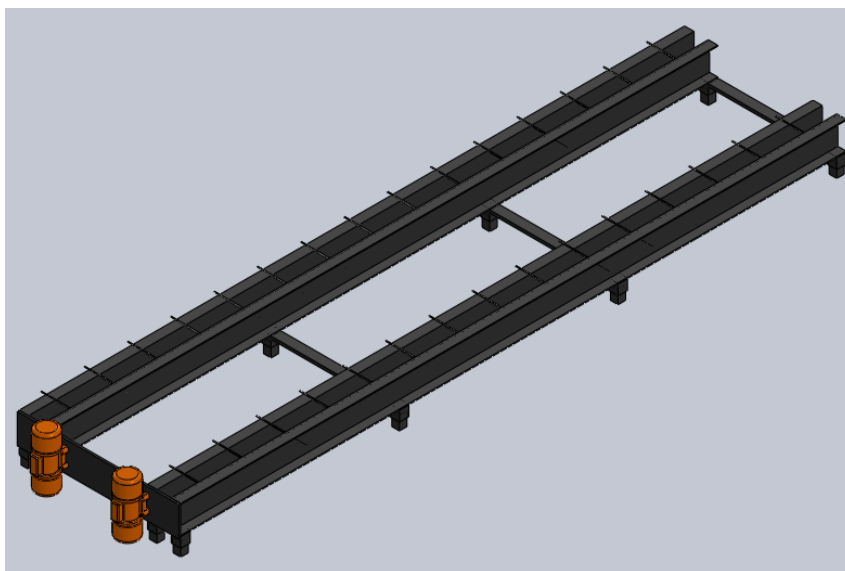


Figura 24. Ensamblaje 1 de la base (SolidWorks).

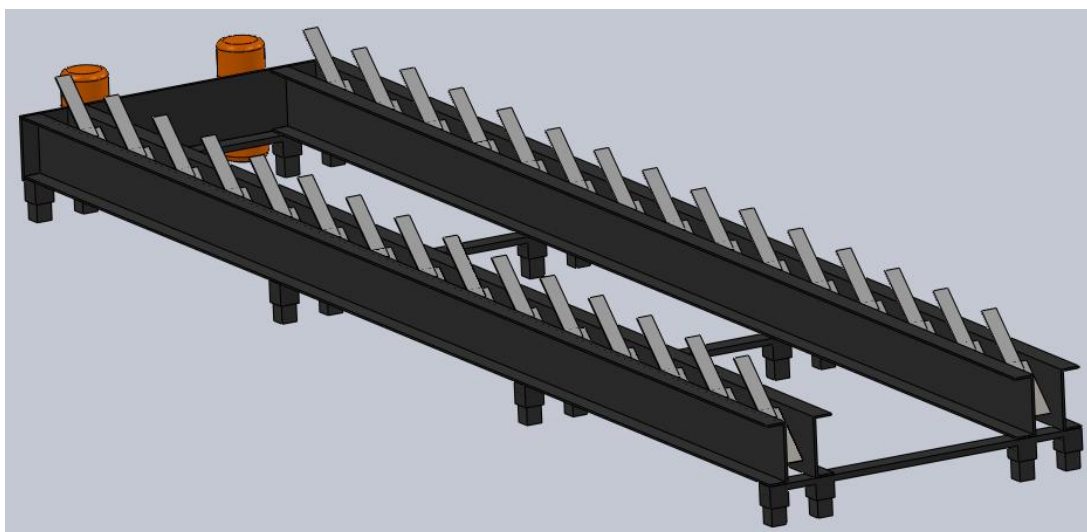


Figura 25. Ensamblaje 2 de la base (SolidWorks).

### 10.3. Cálculo.

#### 10.3.1. Principio de funcionamiento entre la patata y la bandeja.

En el transporte de materiales mediante vibración el material fluye libre sobre la superficie, independientemente del movimiento del medio. Se puede decir que materiales sólidos adquieren el comportamiento del estado líquido, ocupando toda la superficie de transporte manteniendo un nivel homogéneo horizontal, orientando cada elemento buscando la trayectoria de menor resistencia al movimiento.

Estas características ofrecen ventajas únicas permitiendo operaciones secundarias al transporte tales como pulido, cribado y secado.

El sistema motriz de la máquina produce en la bandeja un movimiento vibrante sinusoidal que se transmite al producto, en nuestro caso patatas.

En la figura 25 se ilustra el movimiento de una patata a lo largo de la superficie de transporte.

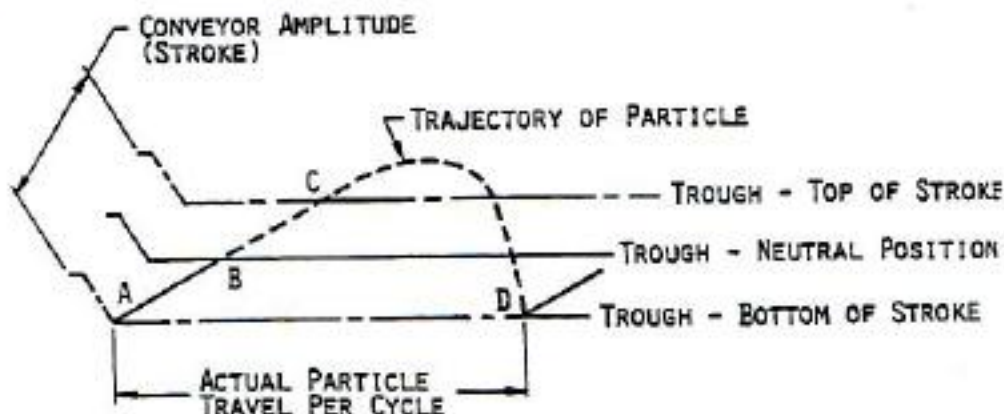


Figura 26. Trayectoria de la patata.

Durante el movimiento la bandeja pasa de su posición inicial (A) hasta su límite superior (C), pasando por su punto de máxima velocidad (B). En su movimiento de subida y bajada, en el trayecto de (B) a (C), la bandeja decelera. Durante el ciclo de subida, la patata y la bandeja están en contacto de (A) a (B) y en el punto (B) la velocidad de la patata supera a la de la bandeja separándose de esta y describiendo la trayectoria de (B) a (D) y la patata aterriza de nuevo en la bandeja en la posición (D).

Como se puede ver estamos hablando de diferentes movimientos estudiados en diferentes apartados de la Física.

### 10.3.2. Fórmulas aplicadas.

- Para la bandeja:

$$x = X \beta \sin \omega t \quad (\text{eq.3})$$

$$\beta = \frac{1}{1 - r^2} \quad (\text{eq.4})$$

$$r = \frac{n}{N} \quad (\text{eq.5})$$

En donde:

$\beta$  es el factor de amplificación debido a la resonancia.

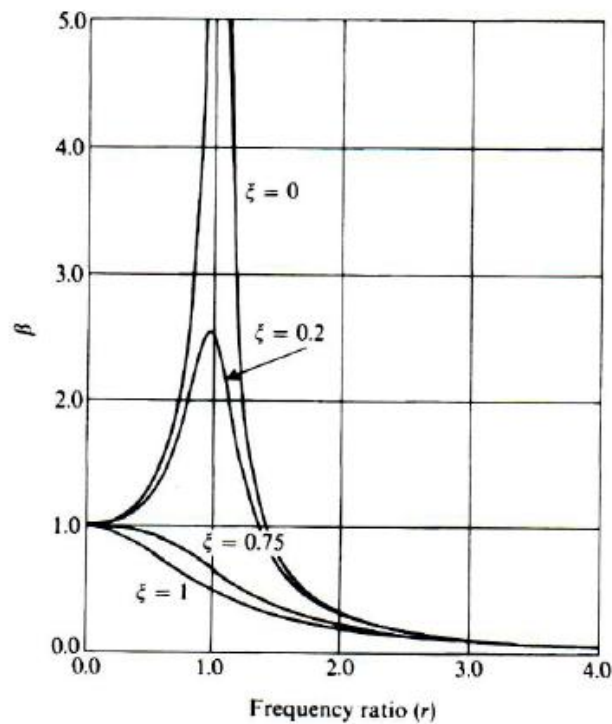
$r$  es la relación de frecuencias

$n$  es la frecuencia de excitación

$N$  es la frecuencia natural

$X$  es la amplitud máxima de la bandeja

En la gráfica 9 mostramos la curva de resonancia, donde se ve la variación del factor de amplificación con la relación de frecuencias. Se puede ver que para valores de  $r$  entre 0,7 y 1 se produce el fenómeno de resonancia. Para el valor 1 el salto es infinito y esto da problemas en la máquina.



Gráfica 9. Curva de resonancia.

### 10.3.3. Datos de partida.

Para iniciar el cálculo debemos primero establecer qué producción de patatas queremos cribar. Diseñaremos una máquina para cribar 35 T/h de patatas. Por las características de la patata y el proceso a realizar, determinaremos como frecuencia idónea de trabajo alrededor de los 750 ciclos por minuto. Con este rango de frecuencias, tenemos que en el primer tramo de la malla una patata da unos 100 saltos, es decir, tiene 100 oportunidades para pasar por la luz de malla y ser cribada, en el segundo tramo da unos 70 saltos, en los tramos 3, 4 y 5, da unos 50 saltos y en el último tramo de la malla da unos 25 saltos.

Establecemos como anchura de la máquina 1 m, acorde con las dimensiones de las actuales máquinas de calibrado de patatas que no utilizan como principio de funcionamiento la frecuencia natural.

### 10.3.4. Cálculo de la constante elástica de la máquina.

Para el cálculo de la constante elástica de la máquina, para una frecuencia natural de unos 14,2 Hz, se aplica la fórmula:

$$N = 5,03 \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{eq.6})$$

$$m = \frac{M_1 * M_2}{M_1 + M_2} \quad (\text{eq.7})$$

En donde:

N es la frecuencia natural en Hz

K es la constante elástica de la máquina en [Kg/cm]

m es la masa resultante en Kg

M<sub>1</sub> es la masa de la bandeja en Kg

M<sub>2</sub> es la masa de la base en Kg

Por tanto despejando la constante elástica de la máquina *k*, nos da un valor de 4197,4 Kg/cm.

$$K = 4197,4 \text{ Kg/cm}$$

### 10.3.5. Elección de las ballestas

El material elegido para la fabricación de las ballestas es la fibra de vidrio de alta resistencia, ya que su duración es casi infinita y además presenta una alta resistencia a la corrosión. Fabricadas en paneles de resinas epóxicas reforzadas con continuos filamentos linealmente ajustados orientados en un 90% en una dirección principal y el 10% restante en transversal. Esta configuración permite que el refuerzo orientado de mayor fuerza y rigidez este en la dirección necesaria.

Las ventajas de este material incluyen una alta resistencia, durabilidad, manejabilidad, resistencia a los productos químicos y a la humedad, baja sensibilidad a los cortes y ralladuras, bajo coeficiente de dilatación, y lo más importante, su alta capacidad para almacenar energía, nueve veces mayor que una ballesta de acero.

#### Propiedades físicas

- Módulo de elasticidad:  $28000 \text{ N/mm}^2$
- Stress (fatiga) para  $1 \times 10^7$  ciclos:  $138 \text{ N/mm}^2$

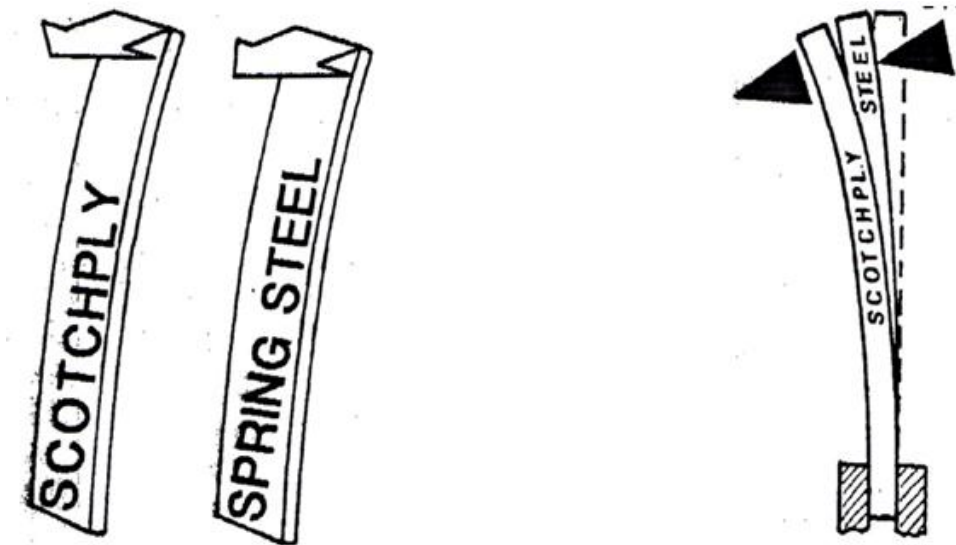


Figura 27. Propiedades de las ballestas.

Para calcular el número total de ballestas necesario para nuestra máquina necesitamos conocer la constante elástica unitaria de cada ballesta, y dividir la constante elástica total o de la máquina entre la constante elástica de la ballesta.

La fórmula para el cálculo de la constante elástica de una ballesta de forma rectangular es:

$$k_i = \frac{129 E I}{(2 * l_u)^3 2} \quad (\text{eq.8})$$

En donde:

E es el módulo de Young en Kg/cm<sup>2</sup>

I es el momento de inercia cm<sup>4</sup>

l<sub>u</sub> es la longitud útil de la ballesta en cm

El módulo de elasticidad de las ballestas de fibra de vidrio según el fabricante es de E = 28000 N/mm<sup>2</sup> (P.J. Prause Durotec GmbH).

Para calcular el momento de inercia usamos la siguiente ecuación:

$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad (\text{eq.9})$$

En donde:

b es el ancho de la ballesta en cm

h es el espesor de la ballesta en cm

Si nuestra ballesta tiene un ancho de 8 cm y un espesor de 0,6 cm, el momento de inercia "I" de la ballesta será de 0,14 cm<sup>4</sup>.

Po tanto, la constante elástica de la ballesta será de 35 Kg/cm.

Si dividimos la constante elástica de la máquina entre la constante elástica de la ballesta obtendremos el número de ballestas de nuestra máquina. El número de ballestas es de 120.

### 10.3.6. Cálculo de la fuerza de impulso necesaria.

Para efectuar un movimiento de cribado se considera 45° como un ángulo correcto de inclinación de las ballestas. Ángulos inferiores son utilizados solamente para el transporte y ángulos superiores para desagüados.

Para el cálculo de la fuerza de excitación aplicamos la fórmula:

$$F = 4 * m * x * n^2 * \left( \left( \frac{N}{f} \right)^2 - 1 \right) * 0,001 \quad (\text{eq.10})$$

Dónde:

m es la masa resultante (Kg)

x es el desplazamiento total del sistema (mm)

f es la frecuencia de excitación (Hz)

f<sub>N</sub> es la frecuencia natural (Hz)

Conocemos todo menos el desplazamiento total del sistema. Para calcularlo lo que tenemos que hacer es calcular el desplazamiento de la bandeja y de la masa de reacción y sumarlos.

Para calcular el desplazamiento de nuestra bandeja utilizaremos una gráfica (anexo II) del catálogo de Italtvibras. En esta gráfica, el desplazamiento es función de la velocidad, de la frecuencia de excitación de los vibradores y del ángulo de inclinación de las ballestas. Nuestra velocidad es de 432 m/h, la frecuencia de excitación es de 750 rpm y el ángulo es de 45°.

Por tanto mirando en la gráfica, el desplazamiento de la bandeja es de 3,11 mm.

Para calcular el desplazamiento de la masa de reacción usaremos la siguiente ecuación.

$$x_1 M_1 = x_2 M_2 \quad (\text{eq.11})$$

Dónde:

X<sub>1</sub> es el desplazamiento de la bandeja (mm)

X<sub>2</sub> es el desplazamiento de la masa de reacción o base (mm)

M<sub>1</sub> es el peso de la bandeja (Kg)

M<sub>2</sub> es el peso de la masa de reacción o base (Kg)

Despejando el desplazamiento de la masa de reacción obtenemos un valor de 1,37 mm.

Sumando ambos, el desplazamiento total del sistema es de 4,48 mm.

Una vez conocemos todos los valores para sustituir en la eq.10, obtenemos una fuerza necesaria de 446,96 Kp.

El motovibrador adecuado para esta fuerza y esta frecuencia de excitación es el MVS1 075/660-S08 del fabricante Italtvibras.



### 10.3.7. Cálculo del “stress” máximo de la ballesta.

El stress máximo de la ballesta no deberá superar el valor de  $1380 \text{ Kg/cm}^2$ , que es el valor que soporta la fibra de vidrio, dado por el fabricante.

Para el cálculo del “stress” aplicaremos las siguientes fórmulas que además nos confirmarán que los datos de inicio aplicados son correctos. En caso contrario se deberá proponer otros parámetros de inicio y recalculer la máquina.

$Q_D$ (kg)	= Peso sobre la ballesta
$P_D$ (N)	= Columna de carga sobre la ballesta debida a $Q_D$
$P$ (N)	= Fuerza aplicada para flexionar la ballesta
$2\Delta$ (mm)	= desplazamiento
$L$ (mm)	= Longitud total de la ballesta
$2l$ (mm)	= longitud libre de la ballesta
$h$ (mm)	= espesor de la ballesta
$b$ (mm)	= anchura de la ballesta
$n$ (Hz)	= Frecuencia de excitación
$N$ (Hz)	= Frecuencia natural del sistema
$E$ ( $\text{N/mm}^2$ )	= Modulo de elasticidad del material de la ballestas

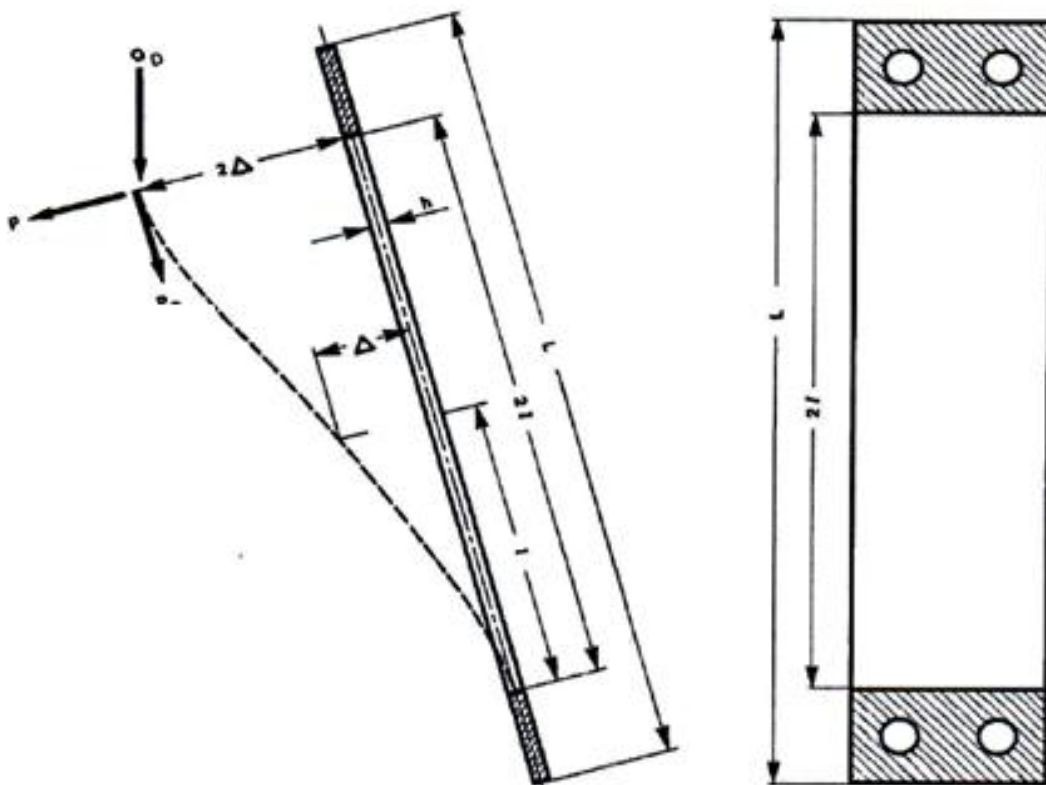


Figura 28. Parámetros de la ballesta.

El “stress” máximo de la ballesta ( $\text{Kg/cm}^2$ ), viene determinado por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{3 E h x}{2l^2 * 10} \quad (\text{eq.12})$$

Dónde:

E es el módulo de Young ( $\text{Kg/cm}^2$ )  
 h es el espesor de la ballesta (cm)  
 x es el desplazamiento total del sistema (mm)  
 2l es la longitud libre (cm)

Como conocemos todos datos a meter en la ecuación, el máximo “stress” de la ballesta es  $392,39 \text{ Kg/cm}^2$ .

Como se puede ver, el “stress” soportado por la ballesta es inferior al indicado por el fabricante, por tanto la ballesta cumple con lo establecido.

La deflexión de la ballesta se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{deflexión} = \frac{9810}{(2\pi N)^2} \quad (\text{eq.13})$$

Obtenemos una deflexión en la ballesta de 1,23 mm.

Si el nivel de stress para el espesor de la ballesta considerado excede del permitido, el diseño debe ser cambiado. La mejor solución es sustituir las ballestas por otras de igual anchura y longitud, pero con menor espesor, que opera con un nivel inferior de stress.

$$N_1 E_1 h_1^3 = N_2 E_2 h_2^2 \quad (\text{eq.14})$$

Dónde:

$N_1$  es el número de ballestas por apoyo en el diseño inicial  
 $N_2$  es el número de ballestas por apoyo en el diseño final  
 E es el módulo de elasticidad de la ballesta  
 $h_1$  es el espesor inicial de la ballesta  
 $h_2$  es el espesor final de la ballesta

### 10.3.8. Cálculo de las aceleraciones

La aceleración del sistema se puede calcular por la fórmula:

$$a = \frac{x w^2}{9810} \quad (\text{eq.15})$$

$$w = 2\pi n \quad (\text{eq.16})$$

Dónde:

X es el desplazamiento total del sistema (mm)

W es la velocidad angular (rad/s)

n es la frecuencia de excitación (Hz)

La velocidad angular es de 77,91 rad/s y la aceleración del sistema es de 2,77 g.

A continuación calcularemos la aceleración para la bandeja y para la masa de reacción.

- Para la bandeja usaremos la siguiente fórmula:

$$a_1 = \frac{x_1 w^2}{9810} \quad (\text{eq.17})$$

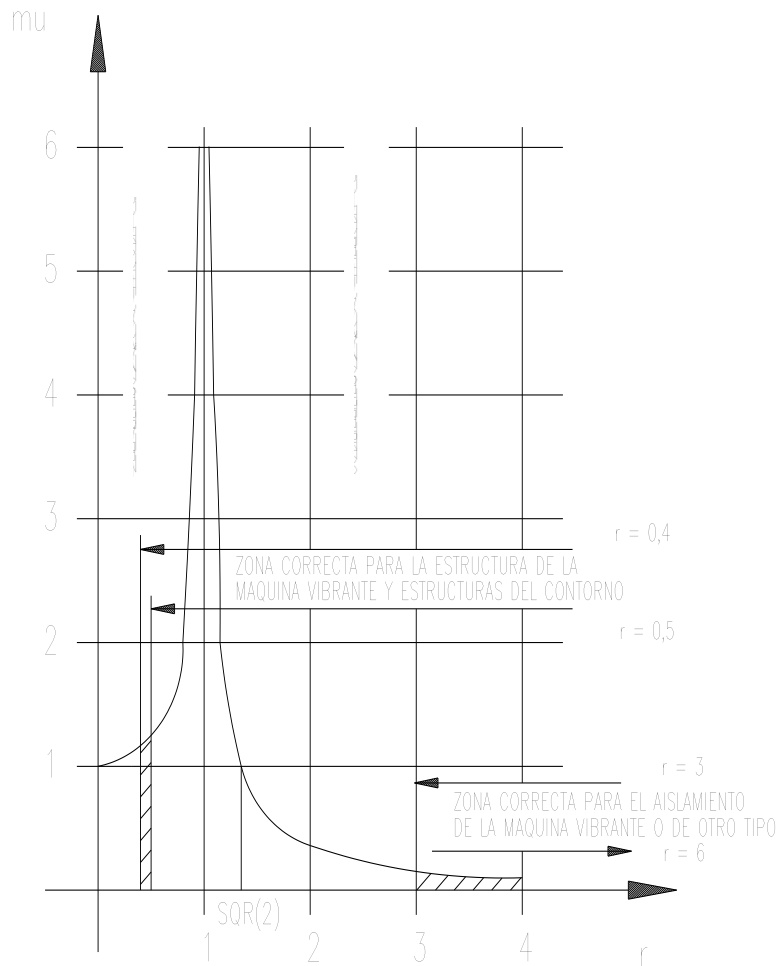
- Para la masas de reacción o base usaremos esta otra fórmula:

$$a_2 = \frac{x_2 w^2}{9810} \quad (\text{eq.18})$$

Obtenemos una aceleración de la bandeja de 1,93 g y una aceleración de la base de 0,85 g.

### 10.3.9. Cálculo de asilamiento.

Para el aislamiento de la máquina nuevamente nos es útil la gráfica de resonancia.



Gráfica 10. Diagrama teórico de la resonancia.

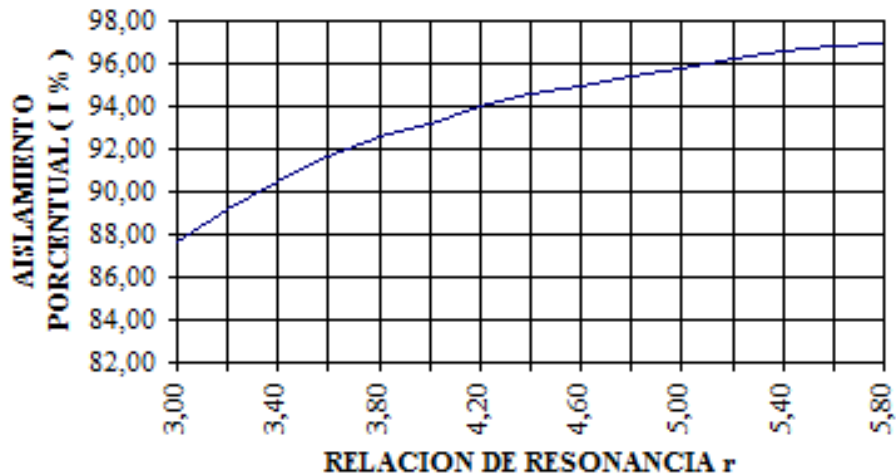
Trabajaremos en la parte de la curva de sobrerresonancia y deberemos elegir valores de  $r$  entre 3 y 6. Nosotros elegiremos una  $r = 5$ .

Para saber el aislamiento de la máquina utilizaremos la fórmula del % de aislamiento porcentual.

$$\%I = \frac{r^2 - 2}{r^2 - 1} \times 100 \quad (\text{eq.19})$$

Sustituyendo la  $r = 5$  en la ecuación, obtenemos un % de aislamiento de 95,83%.

En la siguiente tabla se muestra como varia el % en función de la r.



Gráfica 11. Variación de % de aislamiento respecto a la relación de resonancia.

Siendo  $r = n/N$ , que es la relación entre la frecuencia de excitación “n” y la frecuencia propia del antivibrante “N”.

Como la frecuencia de excitación de nuestro motovibrador es de 750 rpm, la frecuencia propia del antivibrante será de 150 rpm.

A continuación procederemos a calcular la flecha mediante la fórmula siguiente:

$$F = \frac{900000}{N^2} \quad (\text{eq.20})$$

Obtenemos una deformación en el aislante de 40 mm.

Para calcular la constante elástica consideraremos el peso total de la máquina incluido el 20% del peso de las patatas. La constante elástica total para aislar la máquina es de:

$$k = \frac{Q}{F} \quad (\text{eq.21})$$

Dónde:

Q es la masa total de la máquina incluida el 20% del peso de las patatas (Kg)

F es la flecha o deformación del aislante (mm)

Obtenemos una constante elástica total para aislar la máquina de 61,75 Kg/mm. Como hay 16 apoyos, la K para cada uno será de 3,86 kg/mm.

Por tanto habrá que elegir como aislante un antivibrante que cumpla estos requisitos calculados.

### 10.3.10. Fórmulas que rigen el funcionamiento del motovibrador.

Como hemos dicho en el apartado referente al accionamiento, el elemento motriz que incorporaremos son dos motovibradores. Estos motovibradores, dentro de la inmensa gama que hay de ellos, usaremos dos de 8 polos los cuales serán alimentados a través de un variador de frecuencia. Esto se hace para buscar la frecuencia correcta de resonancia.

La velocidad de los motores se rige por la fórmula:

$$f_e = \frac{p \cdot n}{60} \quad (\text{eq.22})$$

Dónde:

$f_e$ : frecuencia de entrada

$p$ : pares de polos

$n$ : velocidad del motor en rpm

La fuerza centrífuga " $F_c$ " generada por un cuerpo de peso " $P$ ", girando en torno a un eje desplazado de su centro de gravedad una distancia  $E$ , la podemos calcular según la fórmula:

$$F_c = P * E * \frac{n^2}{900000} \quad (\text{eq.23})$$

Siendo:

$F_c$ : fuerza centrífuga (Kg)

$E$ : Distancia que une el centro de rotación del cuerpo y su centro de masas (mm)

$n$ : velocidad angular de rotación del cuerpo en rpm

Al producto  $P * E$  se le llama momento estático " $M$ " (Kg.mm) y a la relación  $n^2/900000$ , factor dinámico " $X$ ". Por tanto:

$$F_c = M * X \quad (\text{eq.24})$$

En motovibradores eléctricos rotativos, el momento estático es el producto del peso de las masas por la distancia de giro al baricentro de las mismas.

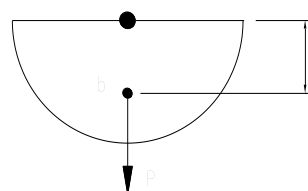


Figura 29. Representación del momento estático.

### 10.3.11. Tablas de cálculo.

A continuación mostraremos los diferentes valores que obtenemos al cambiar el momento de los motovibradores, esto se hace regulando las masas excéntricas, y manteniendo la frecuencia de excitación constante.

Frecuencia de excitación vibradores cte. =750 rpm (12,5 Hz)

Momento de los vibradores (variable)	100%	90%	80%	70%	60%	50%
	723	650,7	578,4	506,1	433,8	361,5
Fuerza de excitación (Kp)	903,75	813,38	723	632,63	542,25	451,88
Relación de frecuencias (r)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Factor de amplificación ( $\beta$ )	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44
Desplazamiento de bandeja (mm)	6,63	5,98	5,31	4,65	3,99	3,31
Desplazamiento masa de reacción o base (mm)	2,93	2,64	2,34	2,05	1,76	1,46
Desplazamiento total del sistema (mm)	9,56	8,61	7,66	6,7	5,75	4,78
Aceleración de la bandeja (g)	4,17	3,76	3,34	2,92	2,51	2,08
Aceleración de la masa de reacción o base (g)	1,84	1,66	1,47	1,29	1,11	0,92
Aceleración del sistema (g)	6,01	5,42	4,81	4,21	3,61	3
Máximo stress de la ballesta (Kg/cm <sup>2</sup> )	836,36	753,64	669,84	586,04	502,79	380,6
<b>Velocidad de transporte (m/min)</b>	<b>15,47</b>	<b>13,94</b>	<b>12,39</b>	<b>10,84</b>	<b>9,3</b>	<b>7,73</b>

Por el contrario, en estas tablas lo que mantenemos constante es el momento de los motovibradores y cambiamos la frecuencia de excitación. Esto lo conseguimos gracias al variador de frecuencia que usamos, ya que cambia la frecuencia procedente de la red que va al motovibrador. Obtenemos los siguientes valores:

Momento de los vibradores cte. = 2x723 Kg.mm

Frecuencia de excitación vibradores (Hz)	11,7	12	12,2	12,3	12,4	12,5
Fuerza de excitación (Kp)	791,77	832,9	860,89	875,06	889,35	903,75
Relación de frecuencias (r)	0,82	0,85	0,86	0,87	0,87	0,88
Factor de amplificación ( $\beta$ )	3,11	3,5	3,82	4	4,21	4,44
Desplazamiento de bandeja (mm)	3,8	4,93	5,43	5,8	6,2	6,63
Desplazamiento masa de reacción o base (mm)	1,68	2,18	2,4	2,56	2,74	2,93
Desplazamiento total del sistema (mm)	5,48	7,11	7,82	8,36	8,94	9,56
Aceleración de la bandeja (g)	2,02	2,86	3,25	3,53	3,84	4,17
Aceleración de la masa de reacción o base (g)	0,89	1,26	1,43	1,56	1,69	1,84
Aceleración del sistema (g)	2,92	4,12	4,69	5,09	5,53	6,01
Máximo stress de la ballesta (Kg/cm <sup>2</sup> )	479,52	621,73	621,73	731,28	782,03	836,36
<b>Velocidad de transporte (m/min)</b>	<b>8,16</b>	<b>11,04</b>	<b>12,36</b>	<b>13,31</b>	<b>14,35</b>	<b>15,47</b>



# CALIBRADOR DE FRECUENCIA NATURAL PARA EL CLASIFICADO DE PATATA

Momento de los vibradores cte. = 2x650,7 Kg.mm

<b>Frecuencia de excitación vibradores (Hz)</b>	<b>11,7</b>	<b>12</b>	<b>12,2</b>	<b>12,3</b>	<b>12,4</b>	<b>12,5</b>
Fuerza de excitación (Kp)	712,59	749,61	774,8	787,56	800,41	813,38
Relación de frecuencias (r)	0,82	0,85	0,86	0,87	0,87	0,88
Factor de amplificación (ß)	3,11	3,5	3,82	4	4,21	4,44
Desplazamiento de bandeja (mm)	3,67	4,33	4,89	5,22	5,58	5,98
Desplazamiento masa de reacción o base (mm)	1,62	1,91	2,16	2,3	2,46	2,64
Desplazamiento total del sistema (mm)	5,29	6,24	7,05	7,52	8,03	8,61
Aceleración de la bandeja (g)	2,02	2,51	2,93	3,18	3,45	3,76
Aceleración de la masa de reacción o base (g)	0,89	1,91	1,29	1,4	1,52	1,66
Aceleración del sistema (g)	2,91	3,32	4,22	4,58	4,97	5,42
Máximo stress de la ballesta (Kg/cm <sup>2</sup> )	462,66	546,26	616,52	657,66	703,04	753,64
<b>Velocidad de transporte (m/min)</b>	<b>8,01</b>	<b>9,7</b>	<b>11,13</b>	<b>11,97</b>	<b>12,9</b>	<b>13,94</b>

Momento de los vibradores cte. = 2x578,4 Kg.mm

<b>Frecuencia de excitación vibradores (Hz)</b>	<b>11,7</b>	<b>12</b>	<b>12,2</b>	<b>12,3</b>	<b>12,4</b>	<b>12,5</b>
Fuerza de excitación (Kp)		666,32	688,71	700,05	711,48	723
Relación de frecuencias (r)		0,86	0,86	0,87	0,87	0,88
Factor de amplificación (ß)		3,82	3,82	4	4,21	4,44
Desplazamiento de bandeja (mm)		3,85	4,34	4,64	4,95	5,98
Desplazamiento masa de reacción o base (mm)		1,7	1,92	2,05	2,19	2,64
Desplazamiento total del sistema (mm)		5,55	6,26	6,68	7,14	8,61
Aceleración de la bandeja (g)	<2	2,23	2,6	2,82	3,06	3,76
Aceleración de la masa de reacción o base (g)		0,99	1,15	1,25	1,35	1,66
Aceleración del sistema (g)		3,22	3,75	4,04	4,42	5,42
Máximo stress de la ballesta (Kg/cm <sup>2</sup> )		486	547,83	657,66	703,04	753,64
<b>Velocidad de transporte (m/min)</b>		<b>8,63</b>	<b>9,89</b>	<b>10,64</b>	<b>11,42</b>	<b>12,39</b>

Momento de los vibradores cte. = 2x506,1 Kg.mm

<b>Frecuencia de excitación vibradores (Hz)</b>	<b>11,7</b>	<b>12</b>	<b>12,2</b>	<b>12,3</b>	<b>12,4</b>	<b>12,5</b>
Fuerza de excitación (Kp)			602,62	612,54	622,54	632,63
Relación de frecuencias (r)			0,86	0,87	0,87	0,88
Factor de amplificación (ß)			3,82	4	4,21	4,44
Desplazamiento de bandeja (mm)			3,8	4,05	4,33	4,65
Desplazamiento masa de reacción o base (mm)			1,68	1,79	1,91	2,05
Desplazamiento total del sistema (mm)			5,48	5,84	6,25	6,7
Aceleración de la bandeja (g)	<2	<2	2,28	2,47	2,68	2,92
Aceleración de la masa de reacción o base (g)			1,01	1,09	1,18	1,29
Aceleración del sistema (g)			3,28	3,56	3,87	4,21
Máximo stress de la ballesta (Kg/cm <sup>2</sup> )			479,7	510,96	546,63	586,04
<b>Velocidad de transporte (m/min)</b>			<b>8,66</b>	<b>9,3</b>	<b>10,03</b>	

# CALIBRADOR DE FRECUENCIA NATURAL PARA EL CLASIFICADO DE PATATA

Momento de los vibradores cte. = 2x433,8 Kg.mm

<b>Frecuencia de excitación vibradores (Hz)</b>	<b>11,7</b>	<b>12</b>	<b>12,2</b>	<b>12,3</b>	<b>12,4</b>	<b>12,5</b>
Fuerza de excitación (Kp)				525,04	533,61	542,25
Relación de frecuencias (r)				0,87	0,87	0,88
Factor de amplificación (ß)				4	4,21	4,44
Desplazamiento de bandeja (mm)				3,48	4,33	3,99
Desplazamiento masa de reacción o base (mm)				1,54	1,91	1,76
Desplazamiento total del sistema (mm)				5,02	6,25	5,75
Aceleración de la bandeja (g)	<2	<2	<2	2,12	2,68	2,51
Aceleración de la masa de reacción o base (g)				0,94	1,18	1,11
Aceleración del sistema (g)				3,05	3,87	3,61
Máximo stress de la ballesta (Kg/cm <sup>2</sup> )				510,96	546,63	502,79
<b>Velocidad de transporte (m/min)</b>				<b>7,99</b>	<b>10,03</b>	<b>9,3</b>

Momento de los vibradores cte. = 2x361,5 Kg.mm

<b>Frecuencia de excitación vibradores (Hz)</b>	<b>11,7</b>	<b>12</b>	<b>12,2</b>	<b>12,3</b>	<b>12,4</b>	<b>12,5</b>
Fuerza de excitación (Kp)						451,88
Relación de frecuencias (r)						0,88
Factor de amplificación (ß)						4,44
Desplazamiento de bandeja (mm)						3,31
Desplazamiento masa de reacción o base (mm)						1,46
Desplazamiento total del sistema (mm)						4,78
Aceleración de la bandeja (g)	<2	<2	<2	<2	<2	2,08
Aceleración de la masa de reacción o base (g)						0,92
Aceleración del sistema (g)						3
Máximo stress de la ballesta (Kg/cm <sup>2</sup> )						380,6
<b>Velocidad de transporte (m/min)</b>						<b>7,73</b>

## 11. CONCLUSIONES

Una vez terminado el diseño de la máquina para el calibrado de patatas por diferentes tamaños, podemos citar a continuación una serie de conclusiones a las que he podido llegar.

En relación con las máquinas existentes en la actualidad destinadas a la misma función que nuestra máquina, la máquina diseñada es una máquina de menor consumo de energía que las actuales accionadas por motores eléctricos con reductor, ya que aprovechamos la característica de las ballestas de almacenar y devolver energía. Solo es necesario aportar la suficiente para mantener el movimiento.

El motovibrador elegido para el accionamiento de la criba tiene un consumo de 0,4 kW (cada uno), mientras que las máquinas actuales para el clasificado de patata tienen un consumo entre 1,1 y 6,1 kW, dependiendo de su peso.

Además cambiando el número de ballestas cambiamos la frecuencia propia de la máquina y sumando la posibilidad de cambiar la frecuencia de excitación de los motores al incorporar un variador de frecuencia, podremos utilizar la máquina cambiando la malla para otro tipo de productos agrícolas como zanahoria, ajo, puerro, etc., lo que convierte a la máquina en una máquina muy versátil.

Si mantenemos constante la frecuencia de excitación del motovibrador y variamos el momento estático de este, obtenemos diferentes velocidades de transporte de la patata. Esto nos da un rango de posibilidades añadidas para asegurarnos que la velocidad de transporte que estamos utilizando es la adecuada, sin la necesidad de cambiar de motovibrador o de diseño de la máquina.

También tenemos la posibilidad de mantener constante el momento estático del motovibrador y cambiar su frecuencia de excitación, esto se consigue poniendo un variador de frecuencia que modifique la entrada de la frecuencia al motovibrador que proviene de la red, obtendremos unos resultados muy interesantes.

A medida que disminuye la frecuencia de excitación, lo hace también la velocidad de transporte, así como la aceleración de la bandeja y el desplazamiento del sistema. Para valores de la aceleración por debajo de 2g la patata no se ve afectada y por tanto no avanzaría a lo largo de la criba, ya que la aceleración vertical resultante es muy parecida a la de la gravedad.

Como podemos ver, la versatilidad de la máquina puede ser abordada desde dos ámbitos distintos, o bien cambiando la frecuencia de excitación y manteniendo el momento estático constante o viceversa.

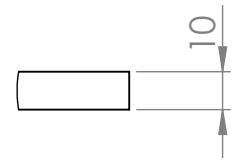
Al realizar el diseño de esta máquina he aprendido muchas cosas que eran nuevas para mí, ya que no había estudiado nunca tan a fondo el tema de la vibración y la resonancia. Ha sido una experiencia vital el preguntar a diferentes empresas información acerca de mi estudio, ya que me ha introducido en cierto modo en el mundo laboral. Por último ha sido muy satisfactorio ver plasmada en el papel una idea que tenía de como clasificar las patatas y además ver que si se fabricara físicamente funcionaría correctamente.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

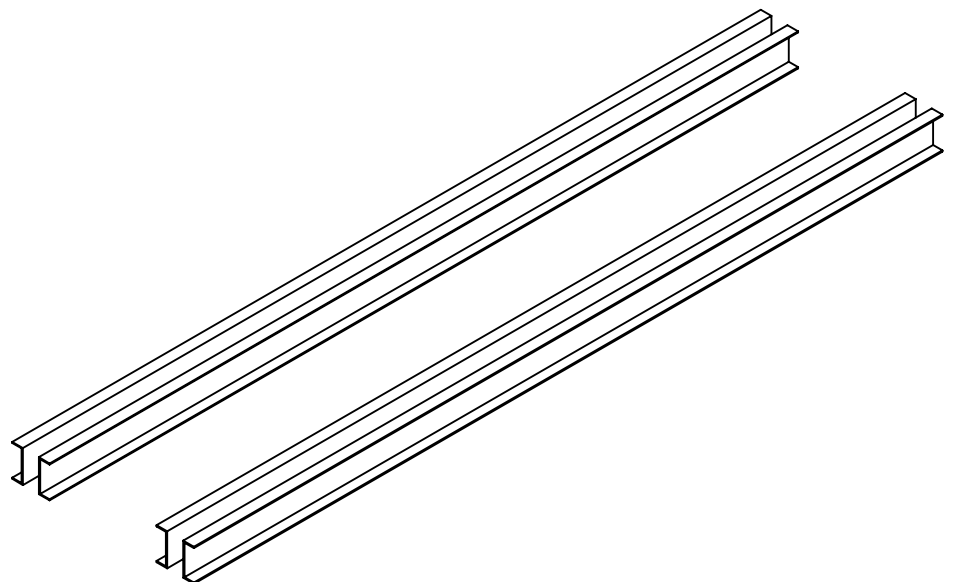
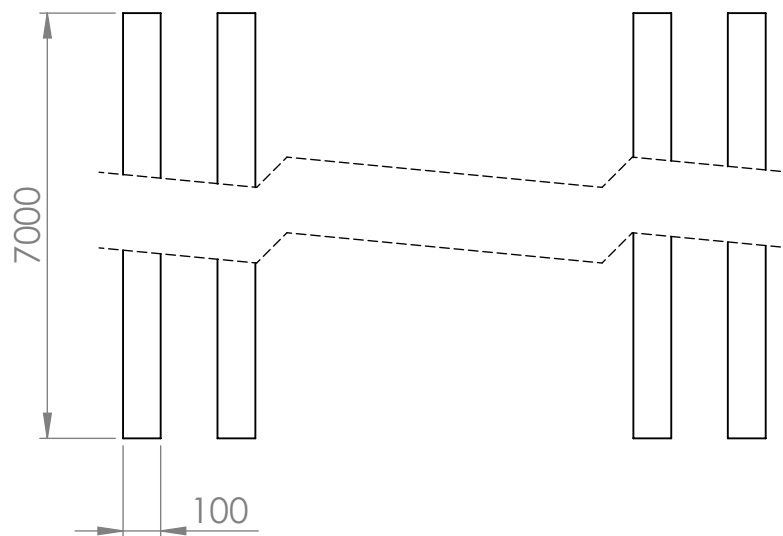
- Sears, Francis W. (1981). *Física*. Editorial Aguilar, Madrid. ISBN: 84-03-20260-1.
- García de la Cal, A. (2015). *Manual de cribado y clasificación Minería y Áridos*. Fueyo Editores, Barcelona. ISBN: 978-84-939391-9-9.
- A.A. Shabana. (1995). *Theory of Vibration: An Introduction*. Editorial Springer. ISBN: 0-387-94524-5.
- A.A. Shabana. (1997). *Vibration of Discrete and Continuous Systems*. Editorial Springer. ISBN: 0-387-94744-2.
- Italvibras G. Silingardi. *Guía para la elección del motovibrador*. Italvibras G. Silingardi. 2013. URL: [www.italvibras.it](http://www.italvibras.it).
- Martin Maq Innovative engineering. *Maquinaria, Calibrado*.
- Albion Latinoamerica S.A. *Lineas de papas, calibradoras*.
- Talleres Nuñez. *Superficies cribantes para la clasificación*. Catálogo Grupo NUBA. 2013.
- Rosta. *Suspensiones oscilantes para cribas y transportadores*. Rosta Company. 2013.
- Urbar. *Cribas estadísticas*. Urbar Ingenieros S.A. 2006.
- Carrier. *Catálogo Posi-Flow Vibrating Conveyors*.
- Carrier. *Catálogo Ampli-Flow Vibrating Feeders*.
- Italvibras G. Silingardi. *Cálculo de la superficie de cribado*.
- AMC Mekanocaucho. *Catálogo técnicas antivibratorias*.
- G.L. HINVEBER. *Ballestas de plástico reforzado para aparato transportador vibratorio*.
- L. Jhonstone (2000). *Principles, Applications and Advantages of Vibratory Conveying technology*. Vol 12. Nº 1. Australia.

- 13. ANEXO I
- 14. ANEXO II
- 15. ANEXO III

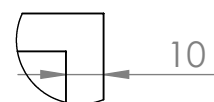
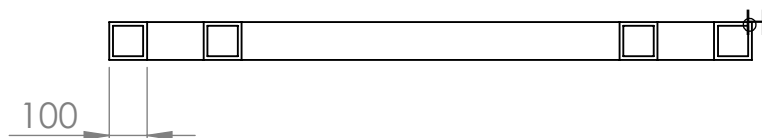
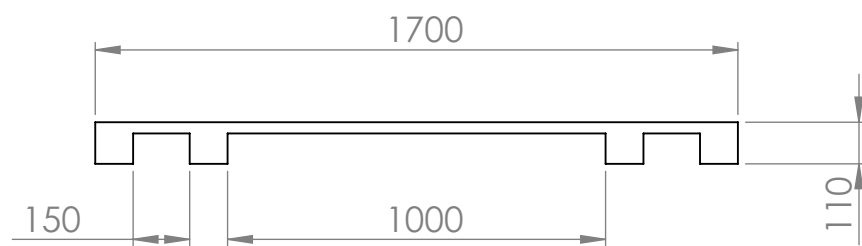
# ANEXO I



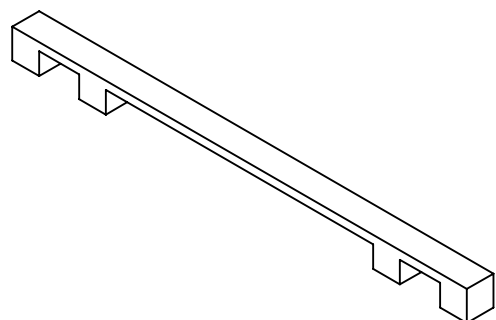
DETALLE H  
ESCALA 1 : 2



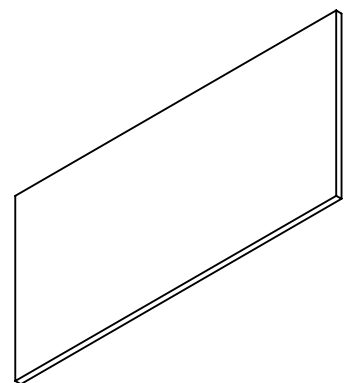
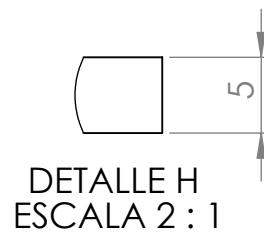
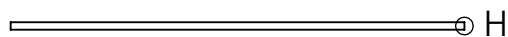
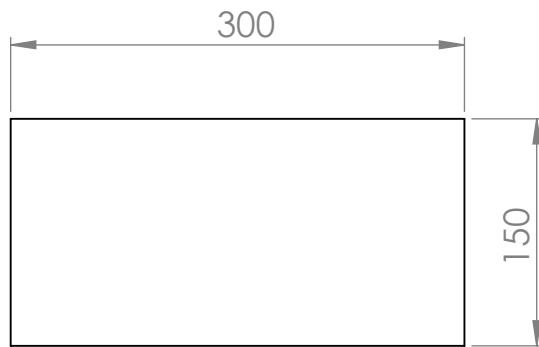




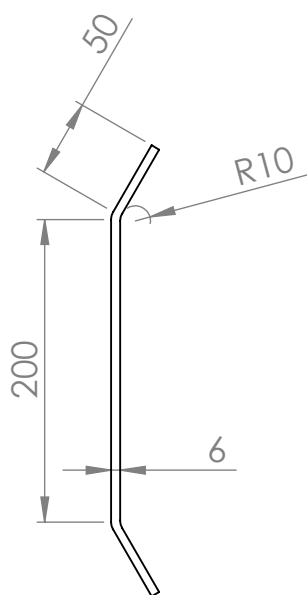
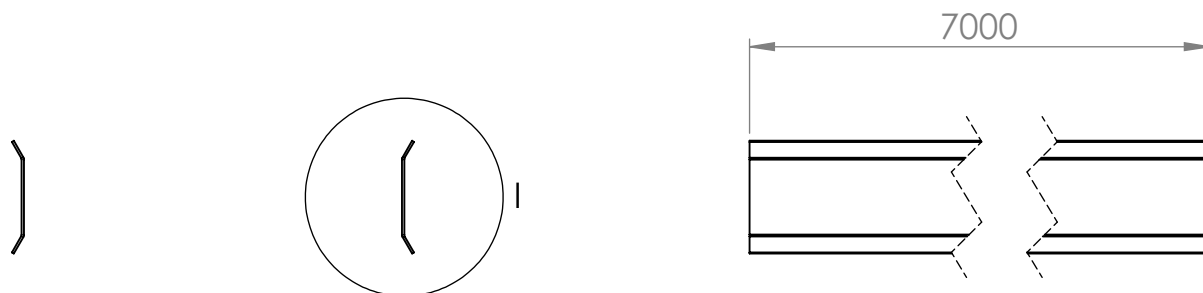
DETALLE H  
ESCALA 1 : 2



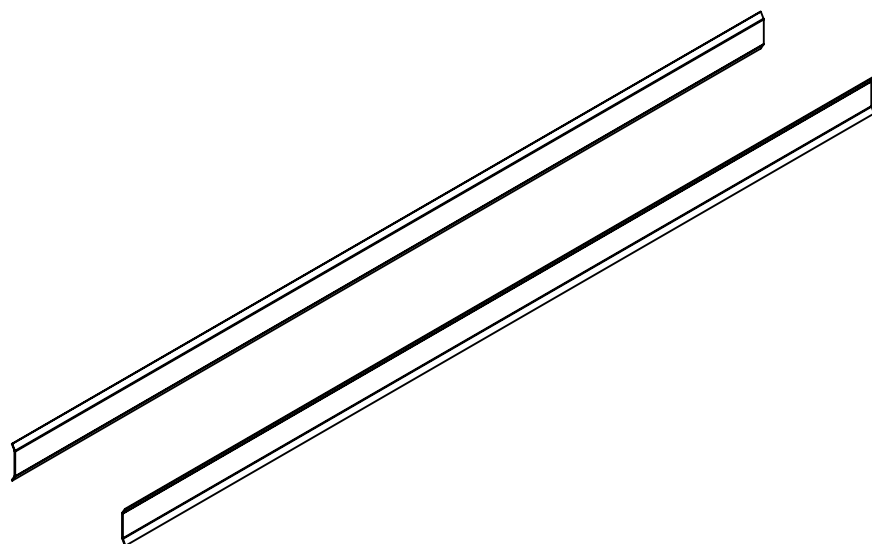
<div><div>Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural</div><div><div>upna</div><div>Universidad Pública de Navarra Departamento de Ingeniería Rural</div></div></div>	E.T.S.I.I.T Campus de Tudela		TRABAJO FIN DE GRADO		
	GRADO INGENIERÍA DISEÑO MECÁNICO				
PROYECTO  Criba de frecuencia natural para el clasificado de patata			REALIZADO POR Andrés Goya Ibero		
			FECHA: 08/06/2015		
			REFERENCIA: Anexo I		
PLANO DE LAS PATAS DE LA MÁQUINA			A4	ESCALA 1:20	PLANO 2



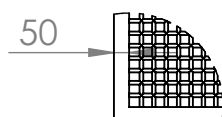
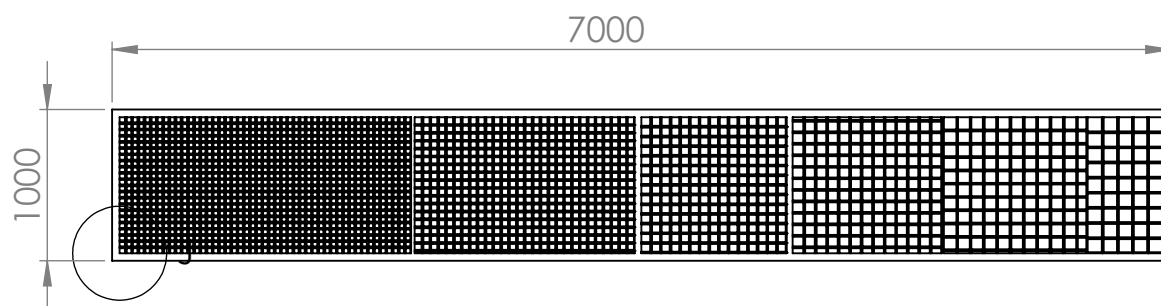
<div><div>Departameto de Proyectos e Ingeniería Rural</div><div><div>upna</div><div>Universidad Pública de Navarra Departamento de Ingeniería Rural</div></div></div>	E.T.S.I.I.T Campus de Tudela		TRABAJO FIN DE GRADO		
	GRADO INGENIERÍA DISEÑO MECÁNICO				
PROYECTO  Criba de frecuencia natural para el clasificado de patata			REALIZADO POR Andrés Goya Ibero		
			FECHA: 08/06/2015		
			REFERENCIA: Anexo I		
PLANO APOYADEROS INFERIORES DE LAS BALELSTAS			A4	ESCALA 1:5	PLANO 3



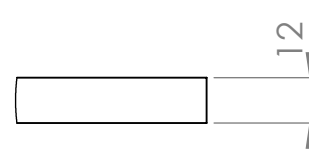
DETALLE I  
ESCALA 1 : 5



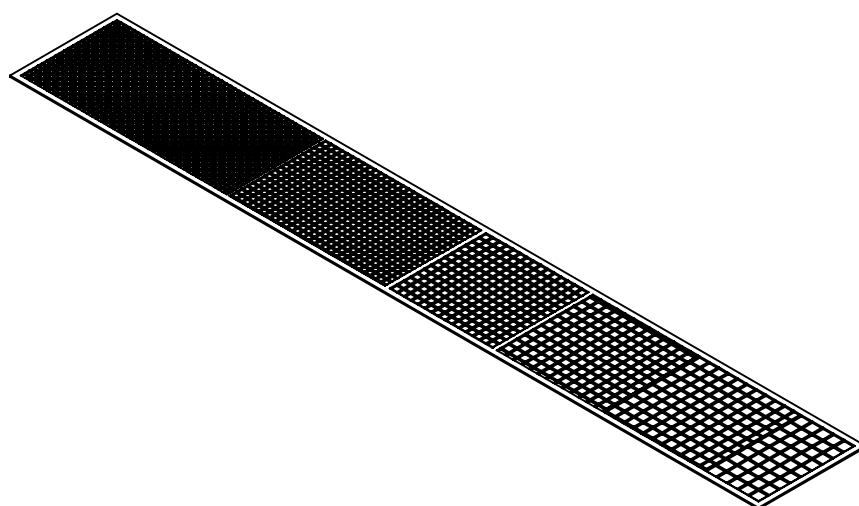
<div><div>Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural</div><div><div>upna</div><div>Universidad Pública de Navarra Departamento de Ingeniería Rural</div></div></div>	E.T.S.I.I.T Campus de Tudela		TRABAJO FIN DE GRADO		
	GRADO INGENIERÍA DISEÑO MECÁNICO				
PROYECTO  Criba de frecuencia natural para el clasificado de patata			REALIZADO POR Andrés Goya Ibero		
			FECHA: 08/06/2015		
			REFERENCIA: Anexo I		
PLANO CHAPAS LATERALES DE LA BANDEJA			A4	ESCALA 1:20	PLANO 4



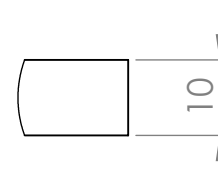
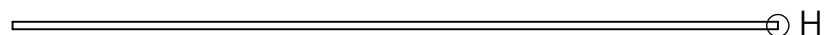
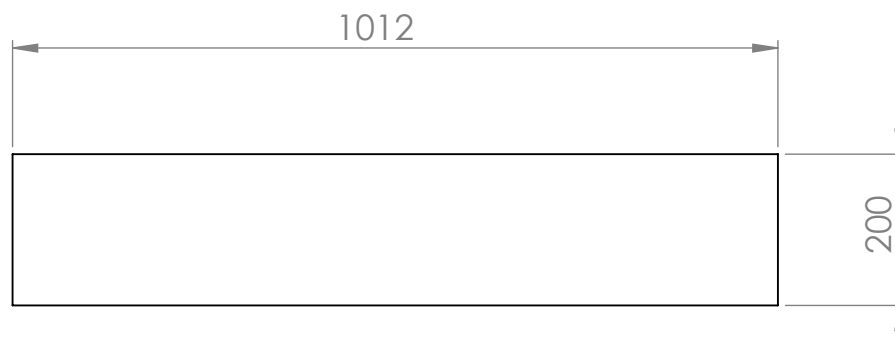
DETALLE J  
ESCALA 1 : 25



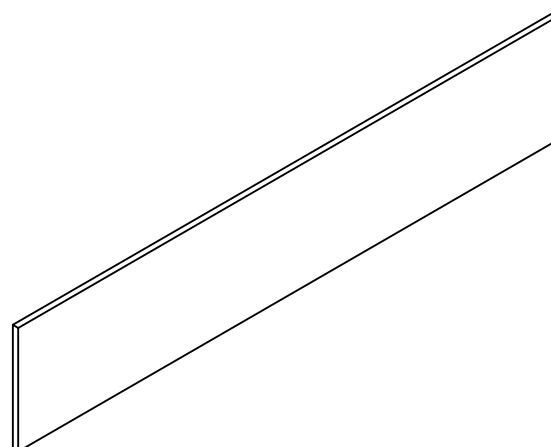
DETALLE I  
ESCALA 1 : 2



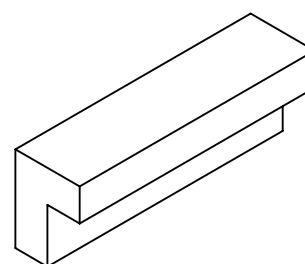
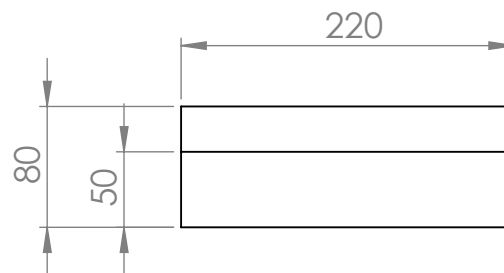
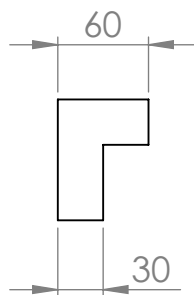
<div>Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural</div> <div><div>upna</div><div>Universidad Politécnica de Navarra Campus de Tudela E.T.S.I.I.T. de Ingeniería</div></div>	E.T.S.I.I.T Campus de Tudela		TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO INGENIERÍA DISEÑO MECÁNICO			
PROYECTO  Criba de frecuencia natural para el clasificado de patata	REALIZADO POR Andrés Goya Ibero			
	FECHA: 08/06/2015			
	REFERENCIA: Anexo I			
PLANO DE LA MALLA	A4	ESCALA 1:50	PLANO 5	



DETALLE H  
ESCALA 1 : 1

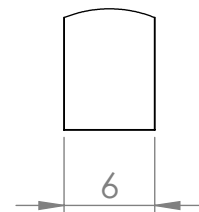
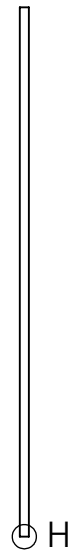
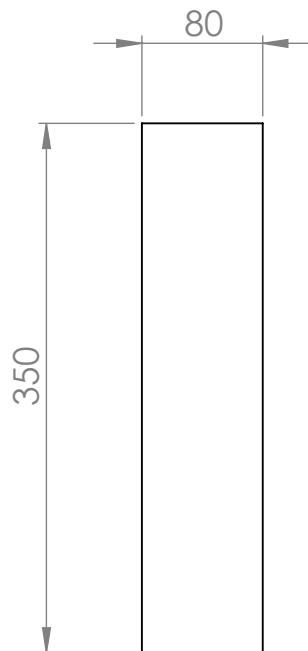


<div><div>Departameto de Proyectos e Ingeniería Rural</div><div><div>upna</div><div>Universidad Pública de Navarra Departamento de Ingeniería Rural</div></div></div>	E.T.S.I.I.T Campus de Tudela		TRABAJO FIN DE GRADO		
	GRADO INGENIERÍA DISEÑO MECÁNICO				
PROYECTO  Criba de frecuencia natural para el clasificado de patata			REALIZADO POR Andrés Goya Ibero		
			FECHA: 08/06/2015		
			REFERENCIA		
PLANO CHAPA PARA CERRAR BANDEJA			A4	ESCALA 1:10	PLANO 6

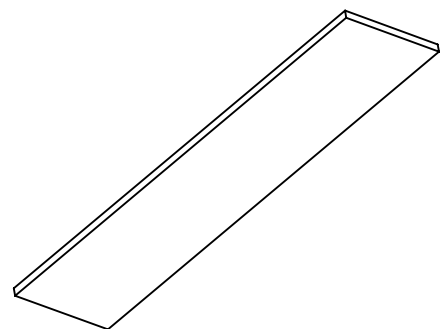


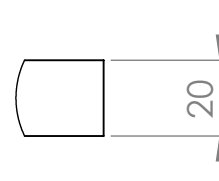
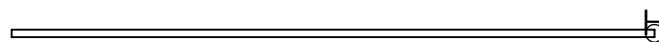
<b>Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural</b> <b>upna</b> <small>Universidad Pública de Navarra Departamento de Ingeniería Rural</small>	E.T.S.I.I.T Campus de Tudela	<b>TRABAJO FIN DE GRADO</b>		
	GRADO INGENIERÍA DISEÑO MECÁNICO	<b>REALIZADO POR</b> Andrés Goya Ibero		
<b>PROYECTO</b>  Criba de frecuencia natural para el clasificado de patata		<b>FECHA: 08/06/2015</b>		
		<b>REFERENCIA: Anexo I</b>		
		<b>A4</b>	ESCALA 1:5	PLANO 7

**PLANO APOYO SUPERIOR DE LA BALLESTA**

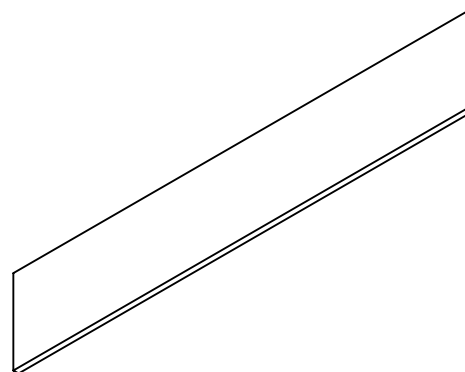


DETALLE H  
ESCALA 2 : 1



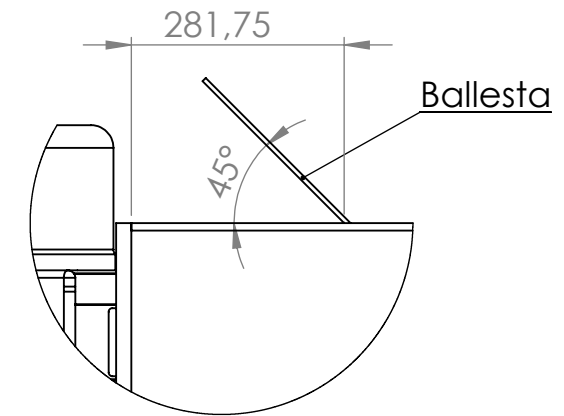
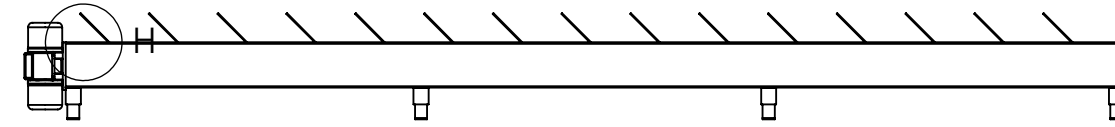
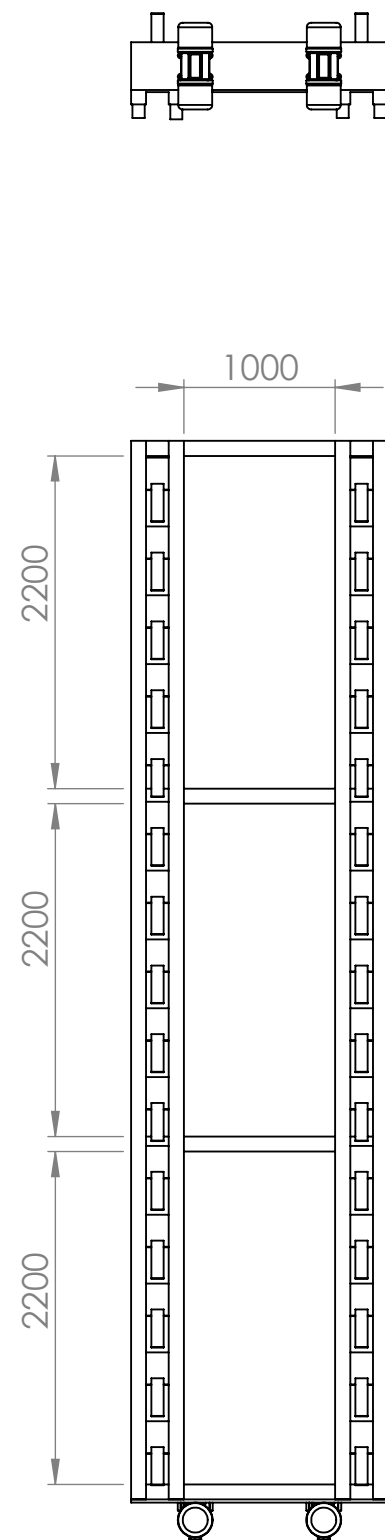


DETALLE H  
ESCALA 1 : 2



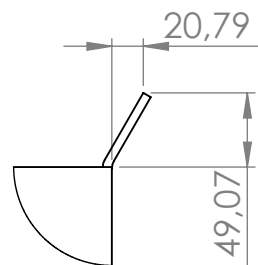
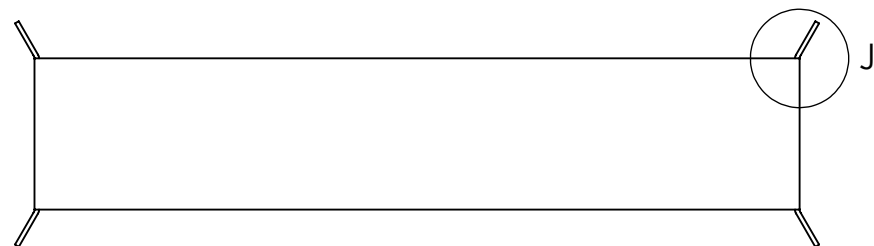
<div><div>Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural</div><div><div>upna</div><div>Universidad Nacional del Nordeste Instituto de Estudios y Experimentación en Ingeniería Rural</div></div></div>	E.T.S.I.I.T Campus de Tudela		TRABAJO FIN DE GRADO		
	GRADO INGENIERÍA DISEÑO MECÁNICO				
PROYECTO  Criba de frecuencia natural para el clasificado de patata			REALIZADO POR Andrés Goya Ibero		
			FECHA: 08/06/2015		
			REFERENCIA: Anexo I		
PLANO CHAPA PARA ATORNILLAR MOTOVIBRADORES			A4	ESCALA 1:20	PLANO: 9



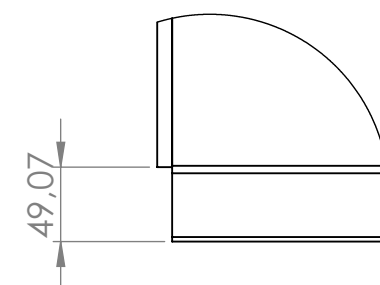
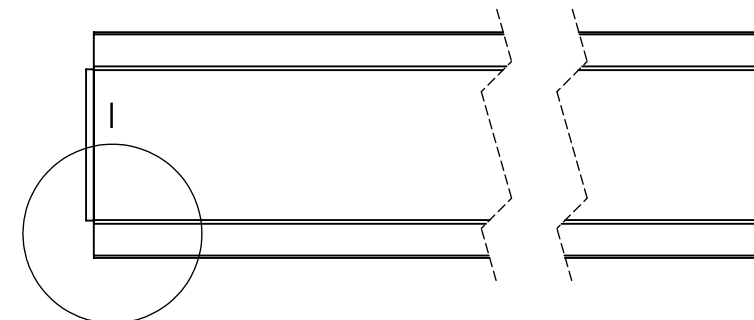


DETALLE H  
ESCALA 1 : 10

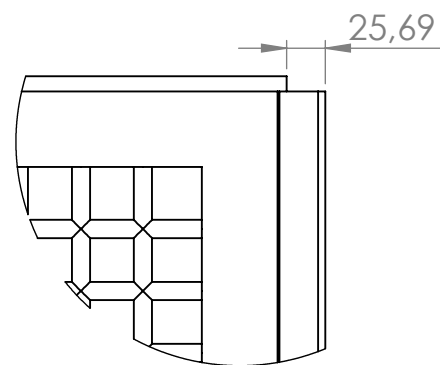
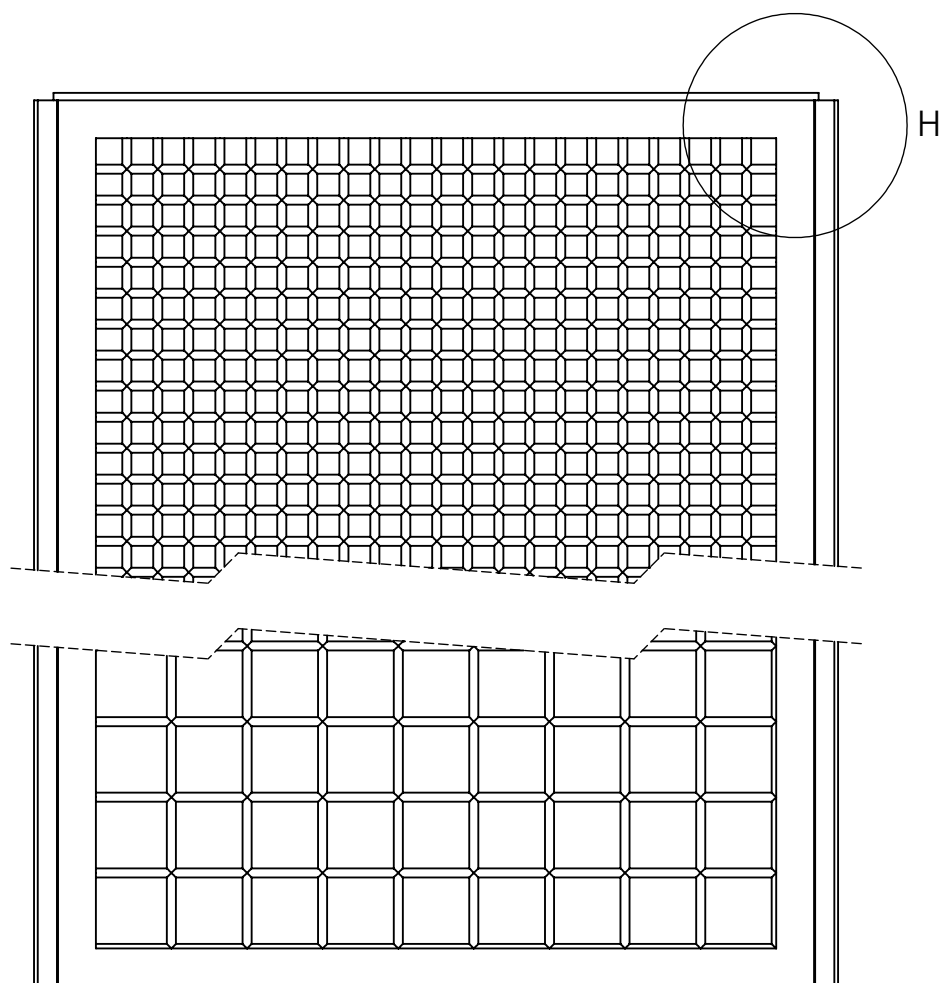
<div><div>Departameto de Proyectos e Ingeniería Rural</div><div><div>upna</div><div>Universidad Politécnica de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div></div></div>	E.T.S.I.I.T Campus de Tudela		TRABAJO FIN DE GRADO		
	GRADO INGENIERÍA DISEÑO MECÁNICO				
<div>PROYECTO</div> <div>Criba de frecuencia natural para el clasificado de patata</div>			REALIZADO POR Andrés Goya Ibero		
			FECHA: 08/06/2015		
			REFERENCIA : Anexo I		
PLANO DE LA BASE			A3	ESCALA 1:5	PLANO 10



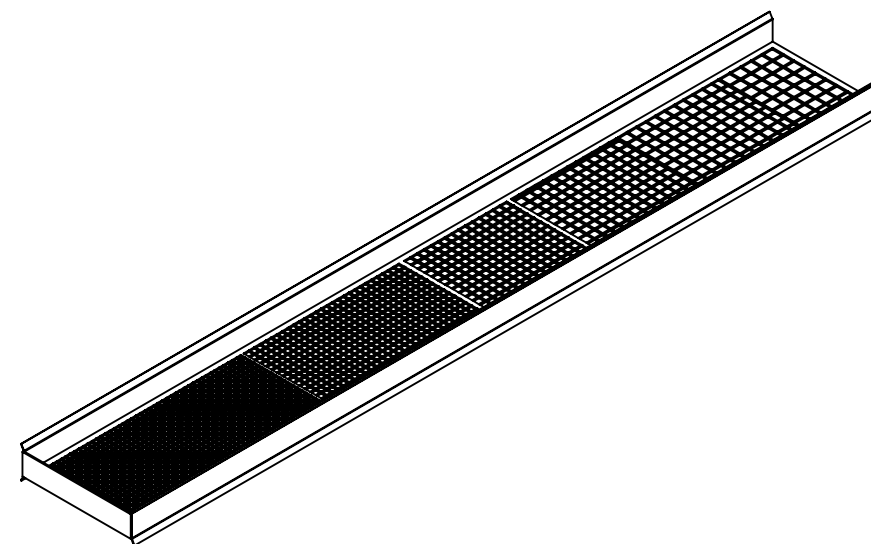
DETALLE J  
ESCALA 1 : 5



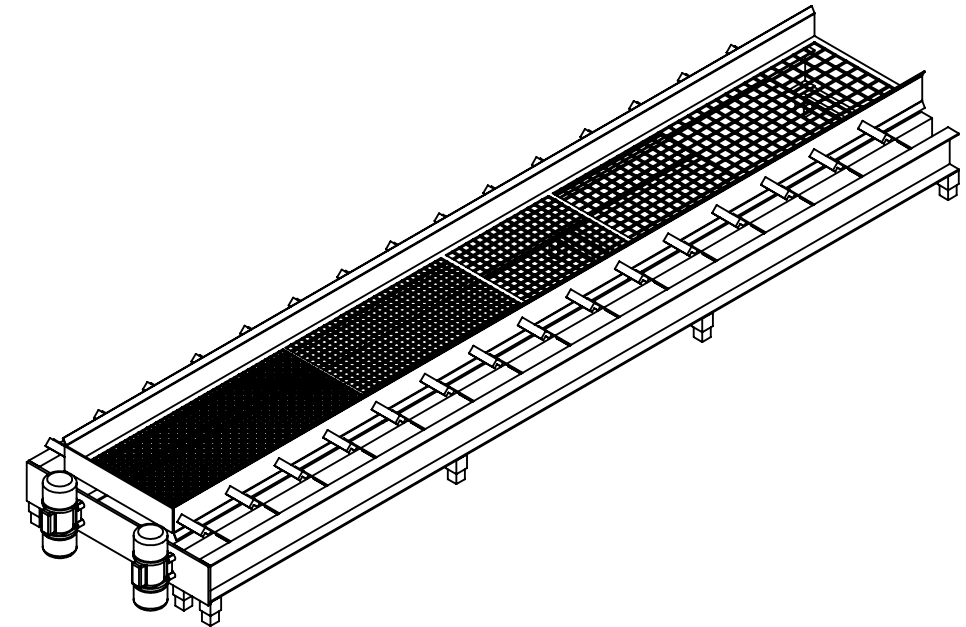
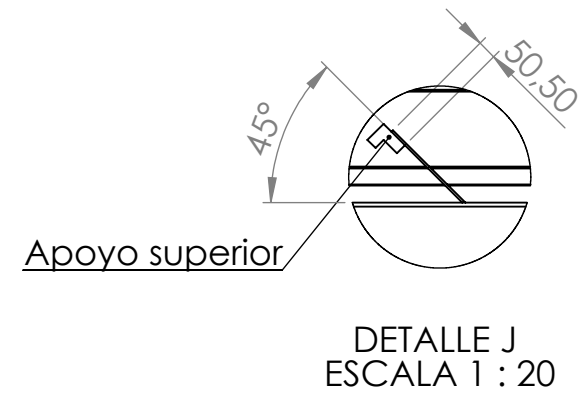
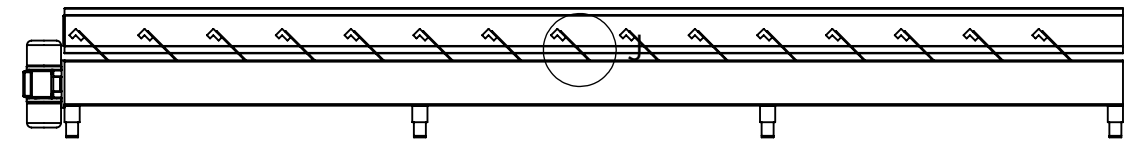
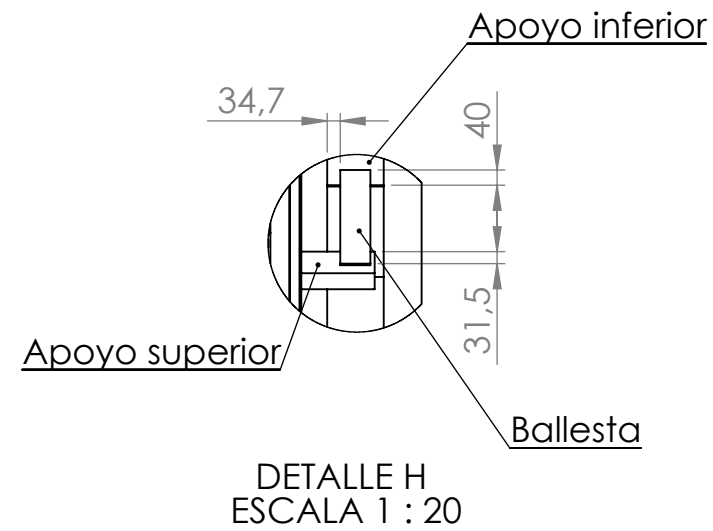
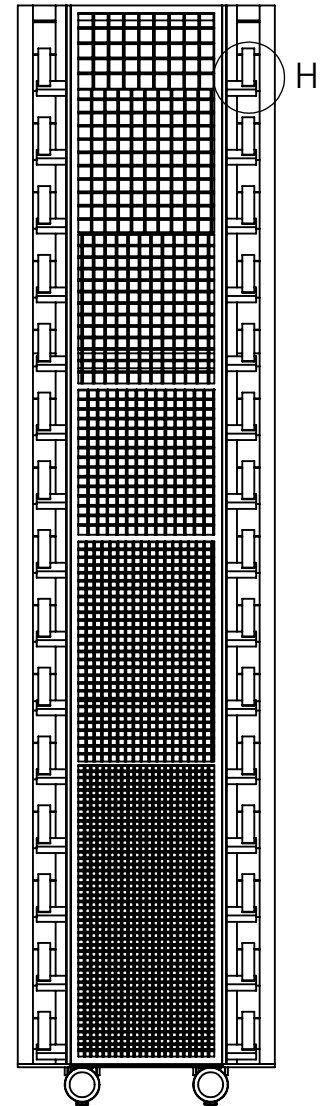
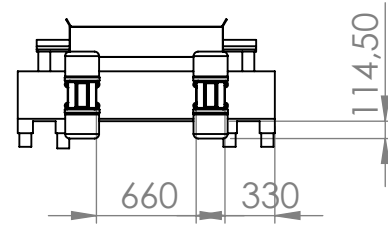
DETALLE I  
ESCALA 1 : 5



DETALLE H  
ESCALA 1 : 5



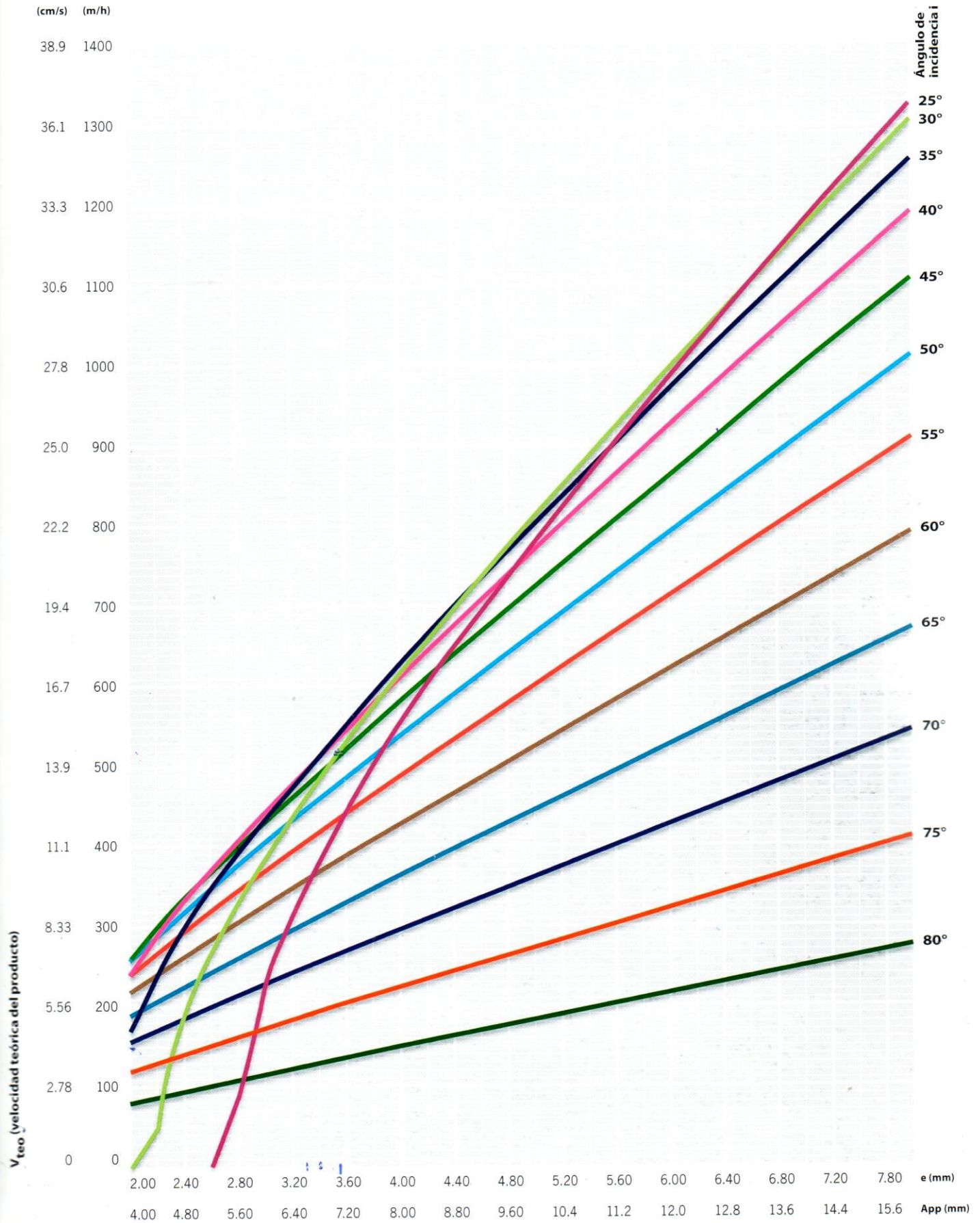
<p>Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural</p> <p><b>upna</b></p> <p>Universidad Politécnica de Navarra Navarra, España Laboratorio Tubos</p>	E.T.S.I.I.T Campus de Tudela		TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO INGENIERÍA DISEÑO MECÁNICO		REALIZADO POR	
	<p><b>PROYECTO</b></p> <p>Criba de frecuencia natural para el clasificado de patata</p>		Andrés Goya Ibero	
			FECHA: 08/06/2015	
PLANO BANDEJA			REFERENCIA: Anexo I	
			A3	ESCALA 1:5
				PLANO 11



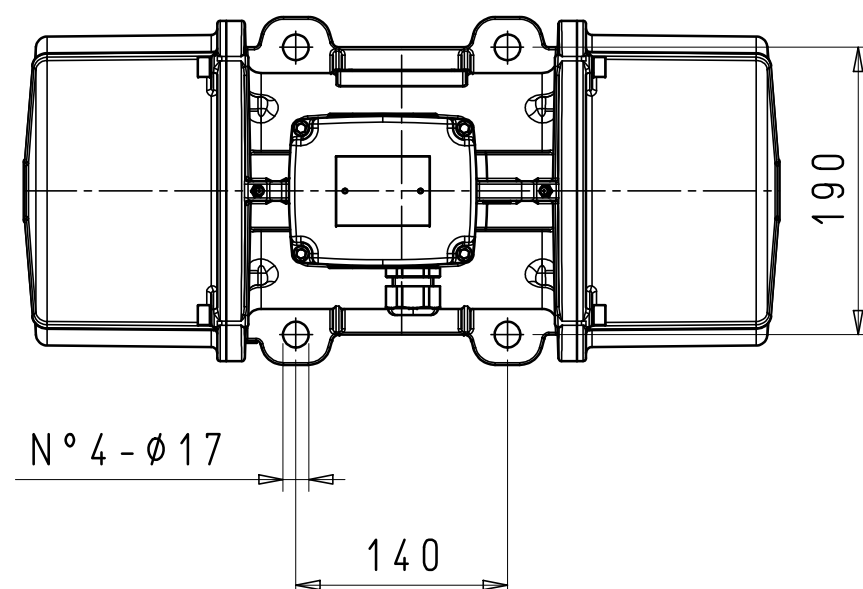
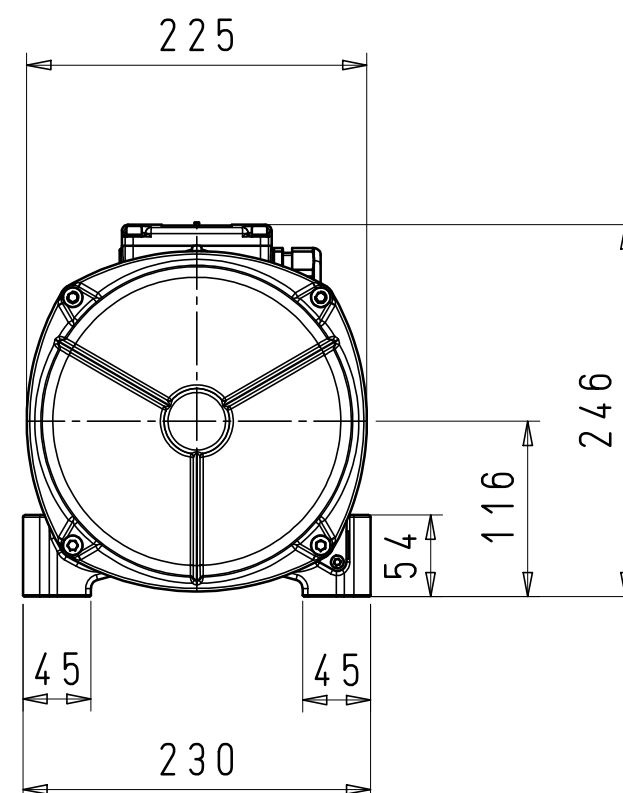
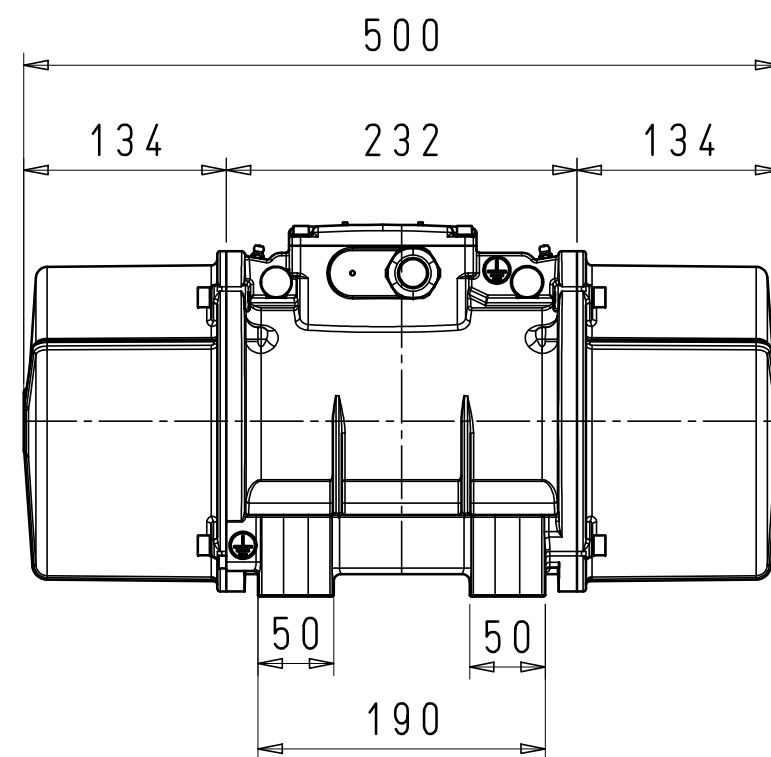
<p>Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural</p> <p><b>upna</b></p> <p>Universidad Politécnica de Navarra Navarra, España Laboratorio Tubos</p>	E.T.S.I.I.T Campus de Tudela		TRABAJO FIN DE GRADO	
	GRADO INGENIERÍA DISEÑO MECÁNICO		REALIZADO POR Andrés Goya Ibero	
<p><b>PROYECTO</b></p> <p>Criba de frecuencia natural para el clasificado de patata</p>	FECHA: 08/06/2015		REFERENCIA: Anexo I	
	PLANO MÁQUINA		A3	ESCALA 1:5 PLANO 12

# ANEXO II

# 750 rpm - 50 Hz



# ANEXO III



Static Moment	Momento Statico	723 Kgmm
Centr. Force	Forza Centr.	456 Kg - 4.46 KN
RPM	Giri	750 Rpm
Frequency	Frequenza	50 Hz
Input Power	Max. Potenza Assorbita	400 W
Input Voltage	Tensione di Alimentazione	230-400 V
Input Current	Corrente Assorbita	2.1 - 1.2 A
Power Factor	Fattore di Potenza	0.51 (cosφ)
Efficiency	Rendimento	53 %
Starting Current	Corrente di Avviamento	5 / 2.9 A
Starting Time	Tempo di Avviamento	1.31 sec
Ambient Temperature	Temperatura Ambiente	40 C°
Bearing Type	Cuscinetto Tipo	6308 2Z C3
B10 Life Bearing	Durata in ore	87000
Unit Weight	Peso	54 Kg

DATA 26/01/2010		VERIF.
DIS. Venturoli		APPROV.
Denominazione		
FIGURINO CON TABELLA MVS1 075/660-S08 50HZ		
Disegno di proprietà Italvibras e' vietato riprodurlo, comunicarlo a terzi e realizzarlo senza autorizzazione. Italvibras tutela i propri diritti a rigore di legge.	SCALA : 1:5	
		
CODICE		REV.
FT602609A		0